

Hinweis auf die Dissertation an der Bauhaus-Universität Weimar

Berücksichtigung externer Kosten bei der Ermittlung von Straßenbenutzungs-
gebühren auf deutschen Autobahnen

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

an der Fakultät Bauingenieurwesen
der Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

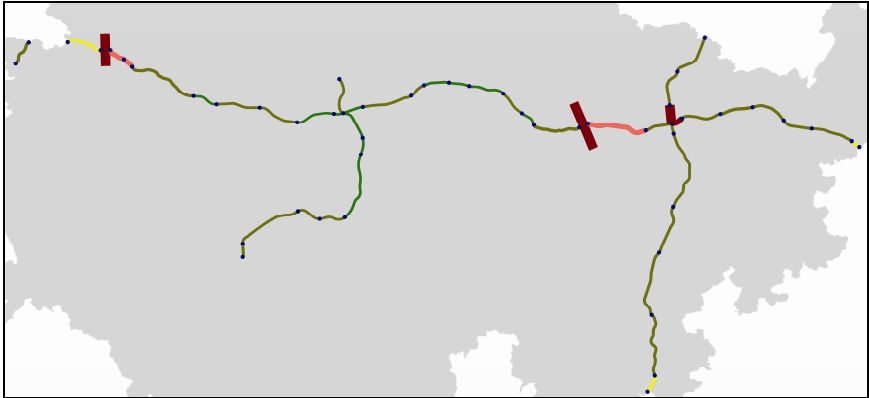
Alexander Dahl
aus Billerbeck

Weimar, April 2010

Gutachter: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Brannolte
 2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Becker
 3. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans Wilhelm Alfen

Tag der Disputation: 03. Dezember 2010

Berücksichtigung externer Kosten bei der Ermittlung von Straßenbenutzungsgebühren auf deutschen Autobahnen



Copyright VPT Weimar

Alle Rechte, auch des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in den Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Bauhaus-Universität Weimar, Professur Verkehrsplanung und Verkehrstechnik,
Marienstr. 13 D, 99421 Weimar

Satz und Gestaltung: Alexander Dahl

Umschlaggestaltung: Asmus Schriewer

Druck: docupoint GmbH

ISBN: 978-3-86068-434-4

Verlag der Bauhaus-Universität Weimar 2011

Bestellung über: verlag@uni-weimar.de

Diese Arbeit steht auch online unter
<http://e-pub.uni-weimar.de/volltexte/2011/1534/> zur Verfügung.

Hinweis:

Im Rahmen der Arbeit entwickelte Kostensätze und Ergebnisse werden zu ganzen Zahlen bzw. auf die zweite Nachkommastelle gerundet, um die dargestellten Werte besser nachvollziehen zu können und die Potenzierung von Rundungsfehlern zu vermeiden. Mit dieser Vorgehensweise soll keineswegs der Anspruch erhoben werden, dass die Werte eine ihrer Darstellung entsprechende Genauigkeit aufweisen.

Kurzfassung

Seit 1969 werden für die Bundesrepublik kontinuierlich Berechnungen zu den Gesamtkosten des Straßenverkehrs der Bundesfernstraßen und deren Verteilung auf die Verkehrsteilnehmer durchgeführt. Die Ergebnisse der Wegekostenrechnungen der Jahre 2002 und 2007 sind die Grundlage für die mittlerweile für das deutsche Autobahnnetz eingeführte fahrleistungsbezogene Benutzungsgebühr für Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mindestens zwölf Tonnen. Damit wird die Forderung der EU-Richtlinie 1999/62/EG umgesetzt, nach der sich die durchschnittlichen Straßenbenutzungsgebühren an den Kosten für den Bau, den Betrieb und den Ausbau des betreffenden Verkehrswegenetzes orientieren sollen. Mit der EU-Richtlinie 2006/38/EG kündigt sich die weitere Entwicklung bei der Berechnung von Straßenbenutzungsgebühren an. Zukünftig sollen auch externe Kosten in die Berechnung einfließen. Ein erster Schritt zur Berücksichtigung dieser externen Kosten erfolgte mit Erstellung eines Handbuchs im Rahmen eines EU-Forschungsprojektes. Das Handbuch enthält aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen in den Mitgliedsstaaten der EU keine exakten Berechnungsvorschriften, sondern stellt verschiedene methodische Ansätze bisher durchgeführter Studien zu externen Kosten vor, gibt Empfehlungen hinsichtlich der Methodenwahl und beinhaltet Schätzungen über die Höhe der externen Kosten. Die im europäischen Raum in den vergangenen Jahren durchgeführten Studien zur Ermittlung externer Kosten des Verkehrs zeichnen sich durch einander ähnelnde Vorgehensweisen aus, die aber vor allem hinsichtlich der Kostenrechnungsart und der verwendeten Kostensätze aus Sicht des Verfassers der vorliegenden Arbeit kritische Aspekte aufweisen.

In der vorliegenden Dissertationsschrift wird daher eine alternative Berechnungsmethodik zur Ermittlung abschnitts-, fahrzeugklassen- und fahrleistungsbezogener externer Kosten für Autobahnen entwickelt und an einem ausgewählten Beispielnetz zur Anwendung gebracht. Dabei wird in einigen wesentlichen Punkten von der in aktuellen Studien überwiegend gewählten Vorgehensweise abgewichen, um eine andere Sichtweise darzustellen. Damit trägt die vorliegende Arbeit substantiell zur Erweiterung des Erkenntnisstands zu Berechnungsmethoden externer Kosten des Straßenverkehrs bei. Die hier entwickelte Berechnungsmethodik ist außerdem als Grundlage für ein in der Praxis anwendbares Verfahren zu verstehen und zeichnet sich auch daher durch eine einfach zu handhabende Übertragbarkeit auf das gesamte Autobahnnetz Deutschlands aus. Die Abschnitte entsprechen den Teilstrecken zwischen zwei Autobahnanchlussstellen. Es wird zwischen den beiden Fahrzeugklassen "Lkw ab 12 t zulässigem Gesamtgewicht" und "Sonstigen Fahrzeugen" unterschieden. Obwohl momentan nur eine Benutzungsgebühr für Lkw ab 12 t zulässigem Ge-

samtgewicht erhoben wird, ist es mit der entwickelten Methodik möglich, fahrleistungsbezogene externe Kosten für alle Kfz angeben zu können. Die Einbeziehung externer Nutzen wird in diesem Zusammenhang andiskutiert; der Schwerpunkt liegt allerdings auf den externen Kosten.

Im Rahmen der Arbeit werden zunächst Definitionen wesentlicher Terminologien dargestellt, soweit diese für das Verständnis der sich anschließenden Diskussion und Festlegung der Grundlagen der entwickelten Berechnungsmethodik notwendig erscheinen. Diese Diskussion und Festlegung umfasst die Bereiche Kostenrechnungsart, Bewertungsverfahren zur Ermittlung des Wertegerüsts, Diskontrate, zu betrachtende Kostenbereiche, Mengengerüst und Allokationsrechnung. Darauf folgend werden die betrachteten Kostenbereiche anhand vorliegender Studien und eigener Überlegungen detailliert dargestellt und das Wertegerüst bestimmt. Außerdem wird die Allokationsrechnung und das für die Berechnung heranzuziehende Mengengerüst für jeden Bereich separat vorgestellt. Anschließend wird die entwickelte Berechnungsmethodik auf ein Beispielnetz (Autobahnnetz Thüringen) angewendet. Neben der Vorstellung des Untersuchungsgebiets, der Berechnung der externen Kosten und der disaggregierten Ergebnisdarstellung wird die Einteilung des Beispielnetzes in unterschiedliche Preiskategorien auf der Grundlage der abschnittsbezogen vorliegenden Ergebnisse diskutiert, auf deren Basis die externen Kosten über Straßenbenutzungsgebühren internalisiert werden könnten. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse werden einzelne Annahmen der Berechnungsmethodik bzw. Kostensätze des Wertegerüsts variiert. Die Auswirkungen dieser Variationen werden wiederum am Beispielnetz, für das erneute Kostenberechnungen vorgenommen werden, dargelegt. Abschließend werden offen gebliebene Fragestellungen und Empfehlungen für weitere Untersuchungen benannt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	11
1.1	Ausgangslage.....	11
1.2	Zielstellung und Abgrenzung	13
1.3	Vorgehensweise	14
2	Definitionen und Grundlagen.....	15
2.1	Wegekostenrechnung.....	15
2.2	Externe Effekte, Kosten und Nutzen.....	16
3	Methodische Grundlagen	22
3.1	Kostenrechnungsarten	22
3.1.1	Grenzkostenrechnung	22
3.1.2	Durchschnittskostenrechnung bzw. Vollkostenrechnung.....	24
3.1.3	Kostenrechnung in der vorliegenden Arbeit.....	26
3.2	Bewertungsverfahren zur Ermittlung des Wertegerüsts	27
3.2.1	Zahlungsbereitschaftsverfahren.....	28
3.2.2	Schadenskostenansatz.....	30
3.2.3	Vermeidungskostenansatz	30
3.2.4	Marktdatendivergenzanalyse	32
3.2.5	Bewertungsverfahren in der vorliegenden Arbeit.....	34
3.3	Diskontrate	37
3.4	Preisstand	38
3.5	Betrachtete Kostenbereiche	38
3.5.1	Staukosten.....	40
3.5.2	Unfallkosten.....	42
3.5.3	Lärmkosten.....	42
3.5.4	Kosten durch Beiträge zum Klimawandel	43
3.5.5	Kosten durch Luftverschmutzung	43
3.5.6	Kosten für Natur und Landschaft	43
3.5.7	Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung.....	43
3.5.8	Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse	43
3.5.9	Kosten durch Nutzung sensibler Gebiete	44
3.5.10	Zusätzliche Kosten in innerstädtischen Gebieten	44

3.5.11	Weitere Kostenbereiche	45
3.6	Mengengerüst und Allokationsrechnung	45
3.7	Zusammenfassung	46
4	Entwicklung der Berechnungsmethodik	48
4.1	Unfallkosten	48
4.1.1	Einführung	48
4.1.2	Betrachtete Wirkungen	49
4.1.3	Bewertungsverfahren/Wertegerüst	49
4.1.4	Mengengerüst und Allokationsrechnung	67
4.2	Lärmkosten	68
4.2.1	Einführung	68
4.2.2	Betrachtete Wirkungen	69
4.2.3	Bewertungsverfahren/Wertegerüst	69
4.2.4	Mengengerüst und Allokationsrechnung	83
4.3	Kosten durch Beiträge zum Klimawandel	85
4.3.1	Einführung	85
4.3.2	Betrachtete Wirkungen	87
4.3.3	Bewertungsverfahren/Wertegerüst	88
4.3.4	Mengengerüst und Allokationsrechnung	94
4.4	Kosten durch Luftverschmutzung	96
4.4.1	Einführung	96
4.4.2	Betrachtete Wirkungen	97
4.4.3	Bewertungsverfahren/Wertegerüst für Wirkungen auf Menschen	102
4.4.4	Bewertungsverfahren/Wertegerüst für Wirkungen auf die Vegetation	114
4.4.5	Bewertungsverfahren/Wertegerüst für Wirkungen auf Gebäude	116
4.4.6	Mengengerüst und Allokationsrechnung	118
4.5	Kosten für Natur und Landschaft	120
4.5.1	Einführung	120
4.5.2	Betrachtete Wirkungen	120
4.5.3	Bewertungsverfahren/Wertegerüst	121

4.5.4	Mengengerüst und Allokationsrechnung.....	123
4.6	Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung	124
4.6.1	Einführung	124
4.6.2	Betrachtete Wirkungen	124
4.6.3	Bewertungsverfahren/Wertegerüst	125
4.6.4	Mengengerüst und Allokationsrechnung.....	127
4.7	Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse.....	128
4.7.1	Einführung	128
4.7.2	Betrachtete Wirkungen	128
4.7.3	Bewertungsverfahren/Wertegerüst	130
4.7.4	Mengengerüst und Allokationsrechnung.....	133
4.8	Zusammenfassung der Berechnungsmethodik	136
5	Anwendung der Berechnungsmethodik am Beispiel des Freistaats Thüringen	140
5.1	Einleitung.....	140
5.2	Berechnung der Unfallkosten	142
5.3	Berechnung der Lärmkosten	142
5.4	Berechnung der Kosten durch Beiträge zum Klimawandel.....	143
5.5	Berechnung der Kosten durch Luftverschmutzung.....	144
5.6	Berechnung der Kosten für Natur und Landschaft.....	145
5.7	Berechnung der Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung ...	146
5.8	Berechnung der Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse	147
5.9	Gesamtergebnis	149
5.10	Analyse der Ergebnisse.....	153
6	Diskussion eines Preissystems	159
7	Sensitivitätsanalyse	164
7.1	Einleitung.....	164
7.2	Unfallkosten.....	165
7.2.1	Variation 1	165
7.2.2	Variation 2	166
7.3	Lärmkosten.....	168
7.4	Kosten durch Beiträge zum Klimawandel	168
7.5	Kosten durch Luftverschmutzung	170

7.6	Kombinationen der kostenbereichsspezifischen Sensitivitätsanalysen	171
7.7	Diskontrate	172
7.7.1	Variation 1	173
7.7.2	Variation 2	175
7.8	Zusammenfassung und Interpretation der Sensitivitätsanalysen.....	177
8	Ausblick.....	181
8.1	Unfallkosten.....	181
8.2	Lärmkosten.....	181
8.3	Kosten durch Beiträge zum Klimawandel	182
8.4	Kosten durch Luftverschmutzung	182
8.5	Kosten für Natur und Landschaft.....	183
8.6	Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung	183
8.7	Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse.....	184
9	Zusammenfassung	185
10	Quellenverzeichnis	188
11	Abbildungsverzeichnis.....	206
12	Tabellenverzeichnis.....	209
13	Verzeichnis der Abkürzungen.....	214
14	Glossar	217
Anhang A – Anhang H		

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Seit 1969 werden für Bundesfernstraßen kontinuierlich Wegekosten berechnet. Auf Basis des Gutachtens **[BMV 1969]** der Arbeitsgruppe "Wegekosten" des damaligen Bundesministeriums für Verkehr und der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages (der sog. Wegekosten-Enquete) wurden in den vergangenen 40 Jahren in regelmäßigen Abständen Berechnungen zu den Gesamtkosten des Verkehrs und deren Verteilung auf die Verkehrsteilnehmer durchgeführt.

Damit erfüllt Deutschland die Anforderungen der 1970 verabschiedeten Richtlinie **[KOM 1970]** des Rates der Europäischen Gemeinschaft. Diese Richtlinie schreibt erstmals Rahmenbedingungen für die Wegekostenberechnung in den Mitgliedsstaaten vor. Sie enthält allerdings keine Aussagen zur anzuwendenden Berechnungsmethodik, sondern umfasst vielmehr die Aufforderung an die Mitgliedsstaaten, in periodischen Abständen Berichte zur Höhe der Ausgaben für Verkehrswege und den darauf abgewickelten Verkehrsmengen vorzulegen. Diese Richtlinie ist zwischenzeitlich durch die Wegekostenrichtlinie **[KOM 1999A]** ergänzt worden, die die wesentlichen Rahmenbedingungen zur Gestaltung einer fahrleistungsbezogenen Benutzungsgebühr auf Straßen der EU-Mitgliedsstaaten festlegt.

Die deutsche Wegekostenrechnung ist im Laufe der Jahre methodisch überarbeitet worden, um neueren Erkenntnissen und den zunehmend feiner gegliedert vorliegenden Eingangsdaten Rechnung zu tragen. Insbesondere die Wegekostenrechnung von **[ROMMERSKIRCHEN ET AL. 2002]** stellt eine Weiterentwicklung dar. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit waren die Grundlage für die mittlerweile für das deutsche Autobahnnetz eingeführte fahrleistungsbezogene Benutzungsgebühr für Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mindestens 12 Tonnen. **[ROMMERSKIRCHEN ET AL. 2002]** bezogen sich dabei ausdrücklich auf die Forderungen der Wegekostenrichtlinie. In diesem Zusammenhang ist vor allem folgende Festlegung der Richtlinie zu erwähnen, die ebenfalls von **[ROMMERSKIRCHEN ET AL. 2002]** umgesetzt wurde: "Die gewogenen durchschnittlichen Mautgebühren müssen sich an den Kosten für den Bau, den Betrieb und den Ausbau des betreffenden Verkehrswegenetzes orientieren" **[KOM 1999A: ARTIKEL 7, ABSATZ 9]**.

Damit bleiben bei der Berechnung der Benutzungsgebühren etwaige andere negative bzw. positive Wirkungen, die von den Verkehrsteilnehmern erzeugt und von Dritten ohne Ausgleichszahlungen getragen bzw. in Anspruch genommen werden, unberücksichtigt. Diese auch in der nachfolgenden und derzeit aktuellen

Wegekostenberechnung von **[ROMMERSKIRCHEN ET AL. 2007]**, bei der auf die gleiche Methodik wie bei der Vorgängeruntersuchung zurückgegriffen wurde, nicht betrachteten Wirkungen, werden als so genannte externe Effekte¹ bezeichnet.

Durch die zwischenzeitliche Verabschiedung der Richtlinien **[KOM 2006A]** bzw. **[KOM 2006B]** wurde die Wegekostenrichtlinie revidiert. Für den hier behandelten Themenkomplex ist insbesondere folgende Ergänzung des Artikels 11 von Relevanz: "Die Kommission legt bis spätestens 10. Juni 2008 nach Prüfung aller Optionen einschließlich der Umwelt-, Lärm-, Stau- und Gesundheitskosten ein allgemein anwendbares, transparentes und nachvollziehbares Modell zur Bewertung aller externen Kosten vor, welches künftigen Berechnungen von Infrastrukturgebühren zugrunde gelegt werden soll" **[KOM 2006A: ARTIKEL 1, ABSATZ 9]**. Damit kündigt die Richtlinie die weitere Entwicklung bei der Berechnung von Straßenbenutzungsgebühren an. Zukünftig sollen auch externe Kosten, ein Bestandteil der externen Effekte, in die Berechnung mit einfließen.

Ein erster Schritt in Richtung dieses in der Richtlinie angekündigten Modells erfolgte im Rahmen des von der Europäischen Kommission beauftragten Forschungsprojektes IMPACT (Internalisation Measures and Policies for All external Costs of Transport), als dessen Abschluss mit der Veröffentlichung von **[MARBACH ET AL. 2007]** ein Handbuch zu externen Kosten vorgelegt wurde. Das Handbuch enthält aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen in den Mitgliedsstaaten der EU allerdings keine exakten Berechnungsvorschriften. Der Schwerpunkt des Handbuchs liegt darin, aus den bisher durchgeführten Studien zu externen Kosten verschiedene methodische Ansätze vorzustellen, aus Sicht der Verfasser sinnvolle Ansätze zur Anwendung zu empfehlen sowie mögliche Bandbreiten externer Kosten anzugeben. Außerdem werden Aussagen zu den benötigten Datengrundlagen gemacht, die jedoch aufgrund der im europäischen Vergleich unterschiedlichen Datenverfügbarkeit sehr allgemein ausfallen. Momentan wird von der Europäischen Union ein allgemeingültiges Berechnungsverfahren für externe Kosten des Straßenverkehrs erstellt, das Bestandteil der überarbeiteten Fassung der Wegekostenrichtlinie werden soll. Der dazu vorliegende Textentwurf **[KOM 2008]** sieht aber auch die Möglichkeit weitreichender Abweichungen von diesem allgemeingültigen Berechnungsverfahren vor, um auf nationale Besonderheiten eingehen zu können. Da das Verfahren sich aufgrund seiner Allgemeingültigkeit nach Ansicht des Verfassers der vorliegenden Arbeit durch eine wenig differenzierte Methodik auszeichnet, sollte es nur dann angewandt werden, wenn keine geeigneteren Verfahren vorliegen.

¹ Die Begriffe externe Effekte und externe Kosten werden im Kapitel 2.2 definiert.

In den vergangenen Jahren wurden im europäischen Raum verschiedene Studien zur differenzierteren Abschätzung externer Kosten des Verkehrs veröffentlicht, die auf weitgehend ähnlichen methodischen Grundsätzen basieren. Diese Grundsätze, die u. a. in der Methodenkonvention des **[UBA 2007]** zusammengefasst wurden, geben nach Auffassung des Autors der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der Kostenrechnungsart, der konsequenten Unterscheidung zwischen internen und externen Kosten über alle betrachteten Kostenbereiche² und der verwendeten Kostensätze ebenfalls Anlass zur Kritik.

1.2 Zielstellung und Abgrenzung

In der vorliegenden Arbeit soll aufgrund der in **[KOM 2006A]** formulierten Anforderungen an zukünftige Wegekostenrechnungen und der aus der Sicht des Verfassers kritikwürdigen Vorgehensweise vorhandener Studien zur Thematik eine alternative Berechnungsmethodik zur Ermittlung abschnitts-, fahrzeugklassen- und fahrleistungsbezogener externer Kosten für Autobahnen entwickelt werden. Ein Abschnitt besteht aufgrund der Struktur des vorliegenden Mengengerüsts jeweils aus der Strecke zwischen zwei Autobahnanschlussstellen. Die Untersuchung beschränkt sich zunächst auf Autobahnen, da die zu bewertenden Mengengerüste für andere Straßen nicht ausreichend differenziert vorliegen. Prinzipiell ist bei Erstellung entsprechender Mengengerüste aber auch eine Anwendung der Methodik bspw. auf Landstraßen möglich. Es wird zwischen den beiden Fahrzeugklassen "Lkw ≥ 12 t zGG" und "Sonstige Fahrzeuge" unterschieden. Mit der zu entwickelnden Methodik wird es daher möglich sein, fahrleistungsbezogene externe Kosten für alle Kfz angeben zu können, auch wenn momentan lediglich für Lkw ab 12 t zulässigem Gesamtgewicht eine Benutzungsgebühr erhoben wird. Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt auf der Betrachtung externer Kosten. Die Einbeziehung der nicht von **[KOM 2006A]** genannten externen Nutzen wird jedoch in diesem Zusammenhang ebenfalls diskutiert.

Mit der vorliegenden Arbeit wird der Anspruch erhoben, den Kenntnisstand zu externen Kosten des Straßenverkehrs substanziell zu erweitern. Die hier entwickelte Berechnungsmethodik ist außerdem als Grundlage für ein in der Praxis anwendbares Verfahren zu verstehen und steht im Vordergrund der Betrachtungen. Daher wird die Methodik an einem ausgewählten Beispielnetz zur Anwendung gebracht. Dabei soll auch der Frage nachgegangen werden, ob im Rahmen einer möglichen Kosteninternalisierung über Straßenbenutzungsgebühren eine Einteilung des Netzes in unterschiedliche Preiskategorien auf Basis der für

² Die untersuchten Folgen von Verkehr (Unfälle, Lärm, Schadstoffe etc.) werden einzelnen "Kostenbereichen" zugeordnet. Von der Verwendung des Begriffs "Kostenkomponente" wird in diesem Zusammenhang Abstand genommen, da es sich um einen auch für andere Zwecke (Bezeichnung für einzelne Kostenbestandteile, bspw. sind Reha-Kosten eine Kostenkomponente des Kostenbereichs Unfallkosten) verwendeten Begriff handelt.

einzelne Abschnitte und Fahrzeugklassen separat vorliegenden fahrleistungsbezogenen externen Kosten sinnvoll ist. Berechtigte Fragen zur Umsetzbarkeit und Implementierung dieses oder eines anderen Internalisierungskonzeptes sowie zur Verwendung der eingenommenen Finanzmittel werden nicht behandelt, da sie Bestandteil des Prozesses der politischen Meinungsbildung sind, dem nicht vorgegriffen werden soll.

1.3 Vorgehensweise

Im Kapitel 2 werden Definitionen wesentlicher Begrifflichkeiten dargestellt, soweit diese für das Verständnis der Diskussion und Festlegung der methodischen Grundlagen, die im Kapitel 3 behandelt werden, notwendig erscheinen. Die anschließend entwickelte Berechnungsmethodik entspricht diesen Festlegungen.

Im darauf folgenden Kapitel 4 werden die betrachteten Kostenbereiche dargestellt. Hier erfolgt eine Diskussion der Wirkungen der einzelnen Kostenbereiche sowie ihrer Monetarisierbarkeit anhand vorliegender Bewertungsverfahren und eigener Überlegungen. Außerdem wird die Allokationsrechnung und das für die Berechnung heranzuziehende Mengengerüst für jeden Bereich separat vorgestellt. Da das behandelte Thema nicht Gegenstand eines von Dritten finanzierten Projektes ist, ergeben sich z. T. Einschränkungen hinsichtlich der Weiterentwicklung der analysierten Verfahren.

Anschließend wird die entwickelte Berechnungsmethodik im Kapitel 5 auf ein Beispielnetz angewendet, um dessen Praxistauglichkeit zu demonstrieren. Nach der Vorstellung des Untersuchungsgebietes, der Berechnung der externen Kosten und der disaggregierten Ergebnisdarstellung wird in Kapitel 6 die Einteilung des Beispielnetzes in unterschiedliche Preiskategorien diskutiert.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse (Kapitel 7) werden einzelne der Berechnungsmethodik zugrunde liegende Annahmen variiert. Die Auswirkungen dieser Variation werden wiederum am Beispielnetz aufgezeigt, für das erneut Kostenberechnungen vorgenommen werden.

Abschließend werden offen gebliebene Fragestellungen und Empfehlungen für weitere Untersuchungen benannt.

2 Definitionen und Grundlagen

2.1 Wegekostenrechnung

Im Folgenden wird ein Überblick über die Methodik der Wegekostenrechnung von [ROMMERSKIRCHEN ET AL. 2002] und [ROMMERSKIRCHEN ET AL. 2007] gegeben, da die zu entwickelnde Berechnungsmethodik nicht im Widerspruch zu wesentlichen methodischen Festlegungen der Wegekostenrechnung stehen soll. Damit wird gewährleistet, dass zusammen mit den Ergebnissen der Wegekostenrechnung eine fundierte und um externe Kosten erweiterte Datenbasis über die Höhe der gesamten Wegekosten vorliegt, auf deren Basis die aktuell in Deutschland erhobene Straßenbenutzungsgebühr modifiziert werden könnte. Dabei ist anzumerken, dass die gewählte Differenzierung der Wegekostenrechnung hinsichtlich der Fahrzeugklassen hier nicht erreicht werden kann. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit gewählte Einteilung widerspricht der von [ROMMERSKIRCHEN ET AL. 2002] und [ROMMERSKIRCHEN ET AL. 2007] gewählten jedoch nicht.

Ziel der Wegekostenrechnung ist die Ermittlung der Wegekosten des Bundesfernstraßennetzes für die Jahre 2003, 2005 und 2010 differenziert nach Fahrzeugklassen. Die Ergebnisse sind Grundlage für die Autobahnbenutzungsgebühr für schwere Nutzfahrzeuge ab 12 t zulässigem Gesamtgewicht. Dabei werden Kapitalkosten bestehend aus Abschreibungen und Zinsen sowie laufende Kosten für die Bereiche kurzfristige Erhaltungsmaßnahmen, betrieblicher Unterhalt, Verwaltung, Verkehrspolizei und das Erhebungssystem der Benutzungsgebühr berücksichtigt. Aus dem Kostendeckungsziel ergibt sich als verwendete Kostenrechnungsart die Vollkostenrechnung. Die ermittelten Kosten werden abschließend im Rahmen einer Allokationsrechnung auf die betrachteten Fahrzeugklassen aufgeteilt.

Abbildung 2-1 zeigt den gesamten Verfahrensablauf der Wegekostenrechnung.

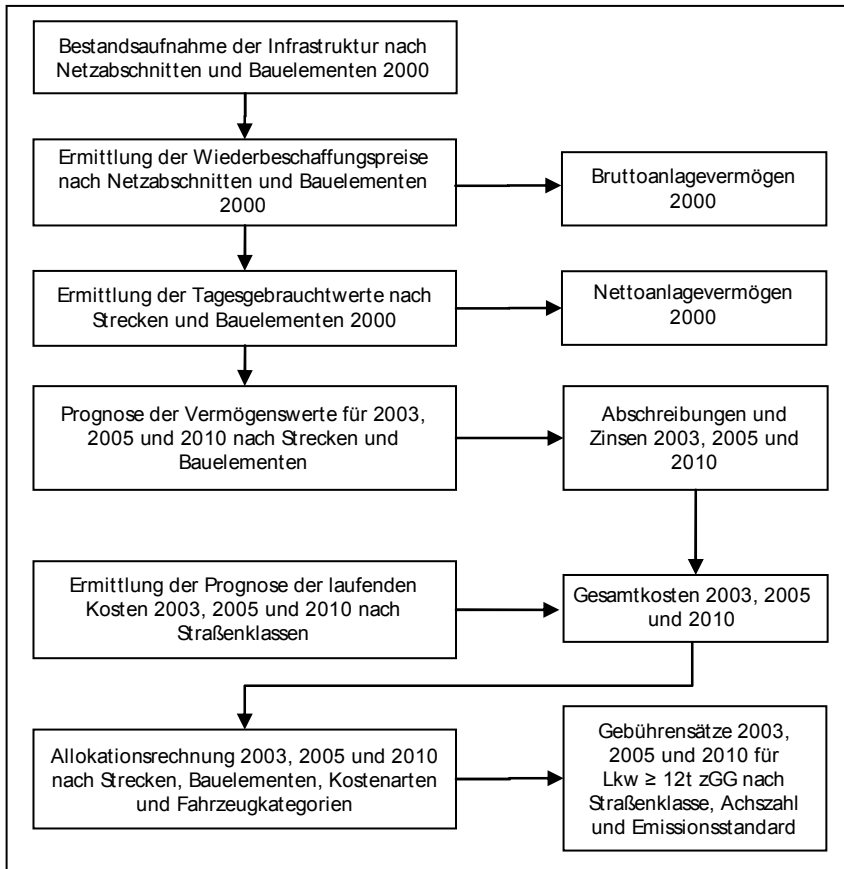


Abbildung 2-1: Schematisches Verfahren der Wegekostenrechnung, [Rommerskirchen 2002]

2.2 Externe Effekte, Kosten und Nutzen

Die Gesamtheit der volkswirtschaftlichen Effekte kann in interne und externe Effekte unterschieden werden. Dabei sind interne und externe Effekte wie folgt definiert:

- Interne Effekte entstehen, wenn Kosten bzw. Nutzen bei den jeweiligen Verursachern anfallen;
- Externe Effekte entstehen, wenn Kosten bzw. Nutzen bei Dritten anfallen und damit nicht vom Erzeuger getragen werden bzw. diesem nicht zugute kommen.

Wenn Kosten, die ein Wirtschaftssubjekt erzeugt, nicht von diesem, sondern von Dritten getragen werden, wird von externen Kosten gesprochen. Externe Nutzen liegen hingegen vor, wenn Dritte den Nutzen, der ihnen durch die Handlung eines anderen Wirtschaftssubjektes zufließt, nicht entgelten.

Weiterhin wird zwischen pekuniären und technologischen Externalitäten unterschieden. Pekuniäre Externalitäten treten auf, wenn die Aktivitäten eines Wirtschaftssubjektes über Veränderungen des Preissystems Auswirkungen auf Dritte haben. Durch die Veränderung des Preissystems werden diese Externalitäten selbständig internalisiert. Pekuniäre Externalitäten sind damit Bestandteil einer Marktwirtschaft und erfordern kein staatliches Handeln. Technologische Externalitäten liegen dann vor, wenn die Aktivitäten eines Wirtschaftssubjektes direkten Einfluss auf Dritte haben, nicht vom Markt erfasst werden und damit keine Änderung des Preissystems zur Folge haben. Durch dieses Marktversagen kommt es zu Abweichungen von der wohlfahrtsoptimierten Preisregel (Grenzkostenpreisregel). Nach dieser wird in einem ideellen Markt die mengenmäßige Produktion eines Guts so bestimmt, dass der erzielbare Preis mit den Grenzkosten für die Erstellung des zuletzt produzierten Guts übereinstimmt. Abbildung 2-2 verdeutlicht die Grenzkostenpreisregel beispielhaft.

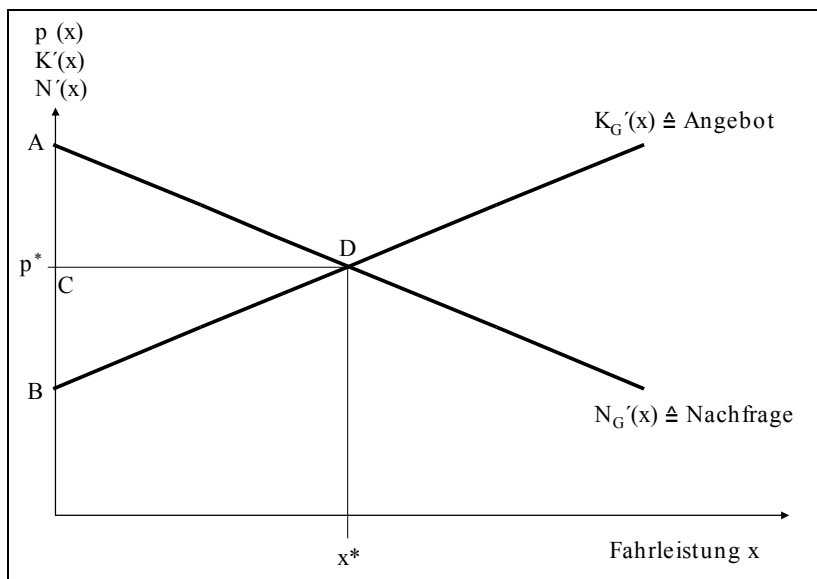


Abbildung 2-2: Grenzkostenpreisregel, in Anlehnung an [Eckey, Stock 2000]

Der Schnittpunkt der sozialen Grenznutzen- ($NG'(x)$) und der sozialen Grenzkostenkurve ($KG'(x)$) stellt den beschriebenen Zustand dar, der als wohlfahrtsoptimiert gilt, da bei "Produktion" der Fahrleistung x^* zum Preis p^* der gesamtwirtschaftliche Überschuss bzw. die Wohlfahrt (Dreieck ABD), bestehend aus Konsumenten- und Produzentenrente, maximal ist. Dabei wird die Konsumentenrente durch das Dreieck ACD und die Produzentenrente durch das Dreieck CBD beschrieben. Bezogen auf den Straßenverkehr treten dabei die Verkehrsteilnehmer als Produzenten bzw. Anbieter der Fahrleistung und einzelne Personen(gruppen) oder die Gesellschaft als Konsumenten bzw. Nachfrager dieser Fahrleistung auf.

Dieses Modellbild setzt voraus, dass die gesellschaftliche Grenznutzenfunktion $NG'(x)$ mit der Nachfragekurve übereinstimmt und die gesellschaftliche Grenzkostenfunktion $KG'(x)$ die Angebotskurve widerspiegelt³, also die Nachfragekurve die gesamte Nutzenstiftung und die Angebotskurve den gesamten Ressourcenbedarf des betrachteten Guts abbilden.

Beim Auftreten technologischer externer Effekte ist genau dies nicht der Fall und wird am Beispiel technologischer externer Kosten in Anlehnung an **[ECKEY, STOCK 2000]** erläutert:

Ein Teil der Grenzkosten für die Produktion einer Fahrleistung wird im Falle technologischer externer Kosten nicht vom Anbieter, sondern von Dritten bzw. der Allgemeinheit getragen. Das bedeutet, dass zwischen einer sozialen bzw. gesamtwirtschaftlichen Grenzkostenkurve $KG'(x)$ und einer privaten Grenzkostenkurve $K_P'(x)$ unterschieden werden muss. Während die gesamtwirtschaftliche Grenzkostenkurve alle mit der Produktion einer weiteren Fahrleistung verbundenen Kosten abbildet, spiegelt die private Grenzkostenkurve nur die Kostenanteile wider, die vom Anbieter der Fahrleistung erbracht werden. Damit verläuft diese Kurve, wie in Abbildung 2-3 dargestellt, unterhalb der sozialen Grenzkostenkurve. Die wohlfahrtsoptimierte Menge der Fahrleistung ist auch in diesem Fall durch den Schnittpunkt zwischen der Nachfragekurve und der sozialen Grenzkostenkurve definiert: bei Produktion der Fahrleistung x^* ergäbe sich die maximale Wohlfahrt ABG^* . Da der Anbieter allerdings nur seine privaten Grenzkosten wahrnimmt, wird die Menge x^{**} Fahrleistung erzeugt, da erst dann ein Gleichgewicht zwischen gesellschaftlicher Grenznutzen- und privater Grenzkostenfunktion erreicht wird.

³ Vereinfachend werden die Begriffe Angebotskurve und Kostenfunktion bzw. Nachfragekurve und Nutzenfunktion im Folgenden synonym verwendet.

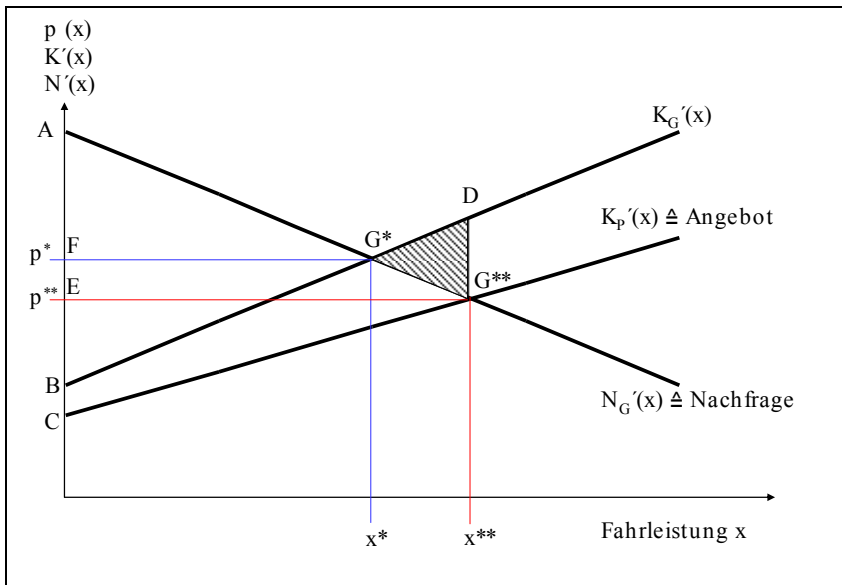


Abbildung 2-3: Auswirkungen externer Kosten, in Anlehnung an [Eckey, Stock 2000]

Daraus resultiert:

- Die Fahrleistung erhöht sich um den Betrag $x^{**}-x^*$.
- Der gezahlte Preis p^{**} ist zu niedrig und unterschreitet die mit der Fahrleistung x^{**} verbundenen sozialen Grenzkosten.
- Die Konsumentenrente des Nachfragers erhöht sich um die Fläche $FEG^{**}G^*$ auf AEG^{**} .
- Die Produzentenrente ändert sich von FBG^* auf ECG^{**} .
- Konsumenten- und Produzentenrente erhöhen sich gemeinsam um $BCG^{**}G^*$, die Wohlfahrt der Konsumenten und Produzenten ist gewachsen. Dieser Zuwachs erfolgt zulasten Dritter, die einen Wohlfahrtsverlust in Höhe von $BCG^{**}D$ erdulden müssen. Dieser Wohlfahrtsverlust stellt die technologischen externen Kosten, resultierend aus der Mehrproduktion der Fahrleistung $x^{**}-x^*$, dar.
- Der Wohlfahrtsverlust auf Seiten Dritter ist um den Betrag $G^*G^{**}D$ höher als der Wohlfahrtsgewinn auf Seiten der Konsumenten und Anbieter. Damit entsteht gesamtwirtschaftlich ein Wohlfahrtsverlust in Höhe dieses Betrags (schraffierte Fläche $G^*G^{**}D$).

Bei Internalisierungsstrategien durch staatliche Eingriffe liegt das Ziel i. d. R. darin, die bei technologischen externen Effekten durch Marktversagen auftretenden Unterschiede zwischen privater und sozialer Grenzkostenkurve zu ermitteln und soweit wie möglich zu reduzieren, um die oben beschriebenen Wohlfahrtsverluste zu minimieren.

Insgesamt erfordern also nur technologische externe Effekte und das ihnen zugrunde liegende Versagen des Marktes staatliches Handeln. Über die Zuordnung externer Kosten und Nutzen zu pekuniären oder technologischen Externalitäten bestehen insbesondere im Verkehrsbereich unterschiedliche Auffassungen. Auf der einen Seite wird z. B. von **[ECKEY, STOCK 2000]** angeführt, dass der externe Nutzen von Verkehr zum überwiegenden Teil pekuniären Charakter besitze. Die verbleibenden geringen technologischen Nutzenanteile seien vernachlässigbar. Auf der anderen Seite argumentiert z. B. **[ABERLE 1997]**, dass der Nutzen, den Unbeteiligte aus der Realisierung einer Ortsveränderung eines Wirtschaftssubjektes haben, weit größer sei als das dafür über Marktmechanismen gezahlte Entgelt. Dies gälte insbesondere dann, wenn der erzielte Nutzen schwer messbar ist wie bspw. Wissenszuwachs oder wenn das Beziehungsgeflecht zwischen dem den Nutzen erzeugenden Wirtschaftssubjekt und Dritten eine hohe Komplexität aufweist.

Nach Auffassung des Verfassers ist davon auszugehen, dass Verkehr auch technologische externe Nutzen erzeugt. Aufgrund der von der Europäischen Union in **[KOM 2006A]** und **[KOM 1995]** getroffenen Festlegung ausschließlich externe Kosten bei der Berechnung von Straßenbenutzungsgebühren zu berücksichtigen, wird in dieser Arbeit ausschließlich eine Berechnungsmethodik für technologische externe Kosten des Verkehrs entwickelt. Ergänzend ist hinzuzufügen, dass aufgrund der Schwierigkeiten technologische externe Nutzen über eine qualitative Beschreibung hinaus zu erfassen, bisher keine geeigneten Verfahren existieren, um deren Höhe zu ermitteln.

Im Folgenden werden technologische externe Kosten vereinfachend als externe Kosten bezeichnet.

Externe Kosten werden nach **[BUTTON 1994]** wiederum in zwei Kategorien unterschieden:

- Externe Kosten mit so genannten Club-Effekten (user-on-user effects) und
- externe Kosten mit Effekten auf Dritte außerhalb des User-Clubs einschließlich der Umwelt (user-on-non-user effects).

Externe Kosten, die von Personen im Zuge ihrer Verkehrsteilnahme erzeugt und auf andere Personen im Rahmen derer Verkehrsteilnahme abgewälzt werden, zeichnen sich durch Club-Effekte aus, wenn die Eigenschaft "Verkehrsteilnahme"

Mitglieder des Clubs gegenüber Außenstehenden abgrenzt. Dagegen werden alle externen Effekte, die auf Dritte außerhalb des Clubs "Verkehrsteilnehmer" abgewälzt werden, zur letztgenannten Gruppe gezählt. In der vorliegenden Arbeit werden – wie allgemein üblich - Kosten, die ausschließlich Club-Effekte aufweisen, bei der Ermittlung externer Kosten nicht berücksichtigt. Die Höhe der berücksichtigten externen Kosten hängt demnach davon ab, wie der Club definiert ist. Die Club-Definition und dessen Auswirkungen auf die Auswahl der in der Arbeit betrachteten Kostenbereiche wird im Kapitel 3.5 diskutiert.

3 Methodische Grundlagen

3.1 Kostenrechnungsarten

Strategien zur Internalisierung externer Kosten haben die Ermittlung dieser Kosten und ihre verursachergerechte Anlastung zum Ziel. Zur Kostenberechnung können unterschiedliche Rechnungsarten herangezogen werden. Im Folgenden werden die Verfahren der Grenz- und Durchschnittskostenrechnung vorgestellt und diskutiert. Auf der Grundlage dieser Diskussion wird eine Kostenrechnungsart zur Anwendung in der vorliegenden Arbeit ausgewählt. In den folgenden Abbildungen werden die gesamten externen Kosten als $K(x)$, die externen Durchschnittskosten als $K(x)/x$, die externen Grenzkosten als $K'(x)$ und die Grenznutzen bzw. die Nachfrage als $N'(x)$ bezeichnet.

3.1.1 Grenzkostenrechnung

Wie im Kapitel 2.2 dargestellt, resultieren externe Kosten aus der Differenz zwischen der sozialen und der privaten Grenzkostenkurve. Als Differenz zwischen zwei Grenzkostenfunktionen ergibt sich wiederum eine Grenzkostenfunktion. Es liegt daher nahe, externe Kosten über die im Folgenden beschriebene Rechnungsart der Grenzkostenrechnung zu ermitteln.

Ein Problem bei Anwendung der Grenzkostenrechnung besteht darin, dass - wie in Abbildung 3-1 beispielhaft dargestellt - kein verlustfreies Angebot realisiert werden kann. Aus dem Schnittpunkt zwischen Nachfrage- und Grenzkostenkurve resultiert der Preis p^* für die Fahrleistung x^* . Damit werden jedoch nicht die mit der Fahrleistung x^* verbundenen Durchschnittskosten bzw. der damit verbundene Preis p^{**} gedeckt, es entsteht ein Unterdeckung der externen Gesamtkosten um den Betrag $\Delta p \cdot x^*$. Ein solches Defizit wird sich immer dann einstellen, wenn die Grenzkostenkurve unterhalb der Durchschnittskostenkurve verläuft.

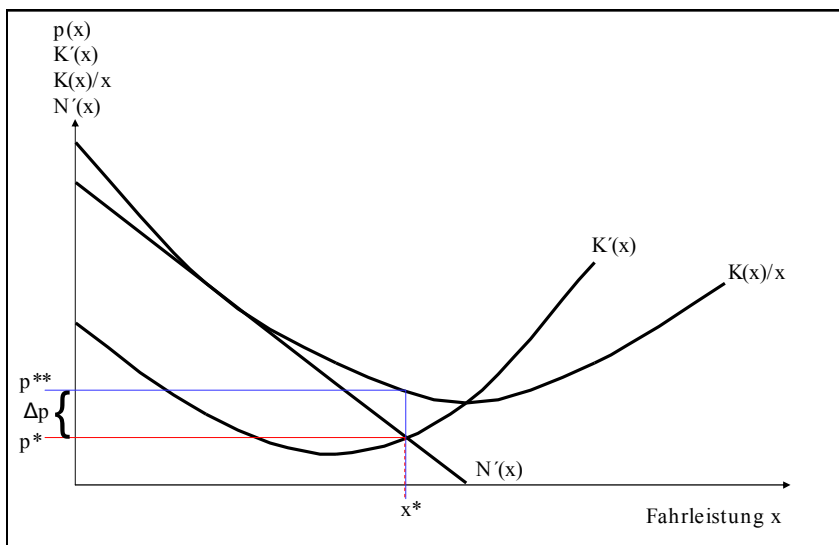


Abbildung 3-1: Mangelnde Kostendeckung bei Anwendung der Grenzkostenrechnung in Anlehnung an [Aberle 1997]

Der wesentliche Vorteil der Berechnung externer Kosten und der Bemessung von Benutzungsgebühren auf Grundlage der Grenzkostenrechnung besteht darin, dass sich in diesem Fall die private und soziale Grenzkostenfunktion entsprechen und damit eine wohlfahrtsoptimierte Fahrleistung realisiert wird (s. Kapitel 2.2). Dieser Umstand hat dazu geführt, dass die Grenzkostenrechnung in den vergangenen Jahren in einer Vielzahl von Untersuchungen zu externen Kosten des Verkehrs angewendet wurde. Ein solcher Vorteil stellt sich aber nur dann ein, wenn, wie in diesen Studien angenommen, jeder einzelne Verkehrsteilnehmer exakt für die Kosten aufkommt, die er verursacht. In den vorliegenden Untersuchungen, bei denen die Grenzkostenrechnung Anwendung findet, werden diese Kosten in Abhängigkeit von einer auf der Grundlage der DTV ermittelten Fahrleistung bestimmt. Die Grenzkosten ergeben sich in diesen Studien als Kostenunterschied zwischen zwei Verkehrssituationen, die auf der DTV bzw. der DTV zuzüglich eines weiteren Fahrzeugs basieren. Die DTV ist allerdings als durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke aller Tage eines Jahres definiert. Die DTV repräsentiert damit keine tatsächlich auftretende Verkehrssituation. Werden Grenzkosten in Abhängigkeit der DTV bestimmt, werden damit zwangsläufig mittlere Grenzkosten errechnet. Wird z. B. angenommen, dass externe Lärmkosten erst bei Überschreitung eines bestimmten Schalldruckpegels entstehen, wird deutlich, dass in verkehrsschwachen Zeiten keine externen Kosten und damit auch keine anzulastenden Grenzkosten entstehen. Werden

aber Grenzkosten unter Verwendung der DTV ermittelt, müssten Verkehrsteilnehmer, die ihre Fahrt in verkehrsschwachen Zeiten durchführen, für Kosten aufkommen, die von anderen Verkehrsteilnehmern auf dem gleichen Streckenabschnitt zu Tageszeiten erzeugt werden, in denen eine Überschreitung des genannten Schalldruckpegels vorliegt.

Um den auf der vorherigen Seite beschriebenen Vorteil der mit der Grenzkostenrechnung verbundenen wohlfahrtsoptimierten Fahrleistung aufrechtzuerhalten, müsste der zu zahlende Betrag also exakt den von der Fahrleistung der aktuellen Verkehrsstärke erzeugten externen Grenzkosten entsprechen. Sobald sich eine Änderung der Verkehrsstärke um ein Fahrzeug ergäbe, würden sich u. U. auch die Grenzkosten und damit die den Nutzern anzulastenden Gebühren ändern. Dies würde zu ständig wechselnden Preisen auf ein und demselben Streckenabschnitt führen, da die Verkehrsstärke nicht konstant ist, sondern in Abhängigkeit von der Jahreszeit, dem Wochentag und der Tageszeit schwankt. Damit wäre der zu zahlende Preis für den Nutzer nicht mehr vor Fahrtantritt und damit vor der Entscheidung über die Routen-, Verkehrsmittel- und Zielwahl abschätzbar. Es muss infrage gestellt werden, ob sich bei einer strikten Anwendung der Grenzkostenrechnung auf der Grundlage stationären Verkehrs und einer entsprechenden Internalisierungsstrategie tatsächlich eine wohlfahrtsoptimierte Fahrleistung einstellen würde.

Die in den vorliegenden Untersuchungen vorgenommene Berechnung "durchschnittlicher Grenzkosten", die in Abhängigkeit von der DTV ermittelt werden, stellt eine Vereinfachung dar, die den beschriebenen Vorteil der Grenzkostenrechnung erheblich schmälert. Eine ausführliche Diskussion hierzu ist bei [ROTHENGATTER 1974] dokumentiert.

3.1.2 Durchschnittskostenrechnung bzw. Vollkostenrechnung

Die Durchschnittskosten- oder Vollkostenrechnung besitzt bezogen auf ihre Anwendung im Zusammenhang mit der Berechnung fahrleistungsbezogener externer Kosten im Vergleich zur Grenzkostenrechnung den Vorteil, dass die Gesamtkosten erfasst werden. Im Falle der Einführung einer fahrleistungsbezogenen Gebühr, die aufsummiert über die Gesamtfahrleistung den Gesamtkosten eines gewählten Bezugszeitraums entspricht, würden alle von den Verkehrsteilnehmern verursachten Kosten auch von diesen getragen. Hier besteht das Problem in der Ermittlung der Gesamtkosten. Dazu müssten für den gewählten Bezugszeitraum die Kosten für jede auftretende Fahrleistung ermittelt und aufsummiert werden. Anschließend müssen diese Gesamtkosten durch die Gesamtfahrleistung dieses Zeitraums dividiert werden, um Durchschnittskosten zu erhalten. I. d. R. wird von dieser Vorgehensweise abgewichen, um die Kostenberechnung

zu vereinfachen. Vielmehr werden die Kosten für die durchschnittliche Verkehrsstärke (i. d. R. die DTV) des Bezugszeitraums (i. d. R. eines Jahres) ermittelt und diese als Durchschnittskosten bezeichnet. Daher müsste in diesem Zusammenhang von "durchschnittlichen Durchschnittskosten" die Rede sein. Diese Vorgehensweise vereinfacht die Situation ebenso wie die auf der vorangegangenen Seite beschriebene Ermittlung durchschnittlicher Grenzkosten.

Ein wesentlicher Nachteil der Durchschnitts- bzw. Vollkostenrechnung liegt in den Effizienznachteilen dieser Berechnungsmethode. Die Effizienznachteile bestehen aus Wohlfahrtsverlusten, wie in Abbildung 3-2 beispielhaft dargestellt. Stellen die Durchschnittskosten $K(x)/x$ die Angebotskurve dar, wird die Fahrleistung x^{**} zum Preis p^{**} erzeugt. Im Vergleich dazu wäre im Falle eines Angebots, das der Grenzkostenkurve entspricht, die Fahrleistung x^* zum Preis p^* zu verzeichnen. Bei Anwendung der Durchschnittskostenkurve stellt sich somit ein Wohlfahrtsverlust in Höhe des schraffierten Bereichs ein.

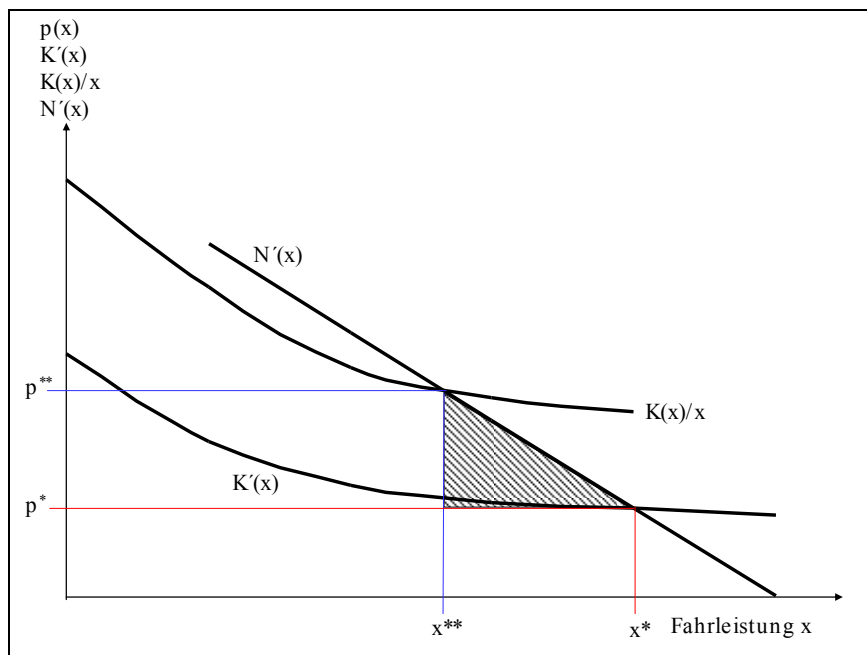


Abbildung 3-2: Wohlfahrtsverluste bei Anwendung der Durchschnittskostenrechnung im Vergleich zur Grenzkostenrechnung, in Anlehnung an [Aberle 1997]

Es gibt allerdings Ausnahmen, bei denen keine Verluste bzw. keine höheren Verluste als bei der Bemessung der Gebühren in Höhe der durchschnittlichen Grenzkosten zu befürchten sind:

- Nachfragekurve schneidet Durchschnittskostenkurve im Betriebsoptimum: Es ist möglich, dass die Nachfragekurve einen gemeinsamen Schnittpunkt mit der Grenz- und Durchschnittskostenkurve hat. Dieser Schnittpunkt liegt dann im Minimum der Durchschnittskostenkurve, da diese in diesem Punkt immer von der Grenzkostenkurve (bei steigenden Grenzkosten) geschnitten wird. Dieser Zusammenhang lässt sich auch mathematisch herleiten: Das Minimum der Durchschnittskostenkurve $K(x)/x$ wird definiert durch

$$\left(\frac{K(x)}{x} \right)' = 0 \quad 1$$

- Daraus ergibt sich nach Anwendung der Quotientenregel:

$$\frac{K'(x) \cdot x - K(x)}{x^2} = 0 \quad 2$$

- Daraus folgt:

$$K'(x) = K(x)/x \quad 3$$

- Da die Grenzkostenkurve als erste Ableitung der Gesamtkostenfunktion $K(x)$ definiert ist, entsprechen sich also die Grenzkosten- und die Durchschnittskostenkurve im Minimum der Durchschnittskostenkurve.
- Lineare Gesamtkostenkurve, die durch den Koordinatenursprung verläuft: In diesem Fall entsprechen sich Grenz- und Durchschnittskostenkurve im gesamten Wertebereich und sind konstant.

3.1.3 Kostenrechnung in der vorliegenden Arbeit

Sowohl die Grenzkostenrechnung als auch die Durchschnittskostenrechnung sind mit gravierenden Nachteilen behaftet. Als Ergebnis der vorangegangenen Diskussion ist festzuhalten, dass sich die Grenzkostenrechnung besser dazu eignet, eine wohlfahrtsoptimierte Fahrleistung zu erreichen. Sie eignet sich daher als Grundlage für Internalisierungsstrategien, bei denen die Steuerung der Verkehrsnachfrage im Vordergrund steht. Die Voll- bzw. Durchschnittskostenrechnung wiederum sollte angewendet werden, wenn das Ziel der Berechnung in der Kostendeckung der entstehenden Externalitäten liegt.

In der vorliegenden Arbeit wird entgegen der allgemeinen Praxis bei der Berechnung externer Kosten mit der Durchschnitts- bzw. Vollkostenrechnung gearbeitet, da dieses Verfahren im Rahmen der Wegekostenrechnung in Deutschland

ebenfalls angewendet wird und die in dieser Arbeit entwickelte Methodik hinsichtlich wesentlicher Grundlagen nicht von der Wegekostenrechnung abweichen soll. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Deckung der entstehenden Kosten. Lediglich im Bereich der Klimakosten werden Kostensätze verwendet, die über die Grenzkostenrechnung ermittelt wurden. Da in diesem speziellen Fall aber die Grenzkosten die Durchschnittskosten übersteigen⁴, kommt es trotzdem zur Kostendeckung. Außerdem ist zu bedenken, dass aufgrund von Wissenslücken im Bereich der Klimaproblematik die ermittelten Kostensätze für Klimakosten nicht die Genauigkeit aufweisen wie bspw. die Kostensätze der Unfallkosten. Daher ist die Frage der Kostenrechnungsart im Bereich der Klimakosten von geringerer Bedeutung.

Im Weiteren ist anzumerken, dass auch **[MAIBACH ET AL. 2007: S. 17F.]** die Anwendung der Durchschnitts- bzw. Vollkostenrechnung nicht ausschließen bzw. für die meisten Kostenbereiche annehmen, dass die (durchschnittlichen) Grenzkosten in etwa den (durchschnittlichen) Durchschnittskosten entsprechen, da die Kostenfunktionen linear verlaufen. Eine ähnliche Auffassung vertreten auch **[MAIBACH ET AL. 2000: S. 16F.]**. Für Kostenbereiche, in denen die Grenzkosten mit zunehmender Fahrleistung abnehmen (z.B. Lärmkosten), macht es "ökonomisch keinen Sinn" **[UBA 2007: S. 46]**, Grenzkosten als Internalisierungsmaßstab heranzuziehen.

Auch in dieser Arbeit werden vereinfachend durchschnittliche Durchschnittskosten ermittelt, da die Ermittlung der Kostenverläufe über den gesamten Wertebereich der auftretenden Fahrleistungen nicht möglich ist. Sie werden im Folgenden vereinfachend als Durchschnittskosten bezeichnet.

3.2 Bewertungsverfahren zur Ermittlung des Wertegerüsts

Einen vermutlich sehr viel größeren Einfluss auf das Berechnungsergebnis externer Kosten als die Wahl der Kostenrechnungsart haben die angewendeten Bewertungsverfahren, mit deren Hilfe das Wertegerüst ermittelt wird. Diese Verfahren ordnen den messbaren Auswirkungen von Verkehr monetäre Werte zu. Bei dieser Zuordnung ist folgende Problematik zu beachten: (Technologische) Externe Kosten treten bei Marktversagen auf; der für die aktuell erzeugte Fahrleistung geltende Preis deckt nicht die sozialen Grenzkosten die im Zusammenhang mit der Erzeugung der Fahrleistung anfallen, da für einzelne dazu verbrauchte Ressourcen bzw. Güter (z. B. Ruhe) kein direkter Markt und somit kein Marktpreis existiert. Damit ergibt sich die Grundproblematik bei der Ermittlung externer Kosten und entsprechender Internalisierungsverfahren, die durch die

⁴ s. Erläuterungen im Kapitel 4.3.3

vorliegenden Bewertungsverfahren auf unterschiedliche Art und Weise gelöst wird: Es müssen Marktpreise für Güter ermittelt werden, die nicht direkt marktfähig sind und für die somit keine Marktpreise existieren. Abbildung 3-3 zeigt die maßgeblich eingesetzten Verfahren zur monetären Bewertung der Wirkungen von Verkehr, die sich vor allem in Hinblick auf die Monetarisierung bzw. den der Monetarisierung zugrunde liegenden Annahmen unterscheiden.

Im Allgemeinen wird zwischen subjektiven und objektiven Bewertungsverfahren unterschieden. Obschon die Vor- und Nachteile der Verfahren bereits u. a. von [BAUM ET AL. 1998] erörtert wurden, werden sie im Rahmen dieser Arbeit nochmals verkürzt dargestellt, da diese Diskussion Grundlage für die Auswahl der in dieser Arbeit verwendeten Verfahren ist.

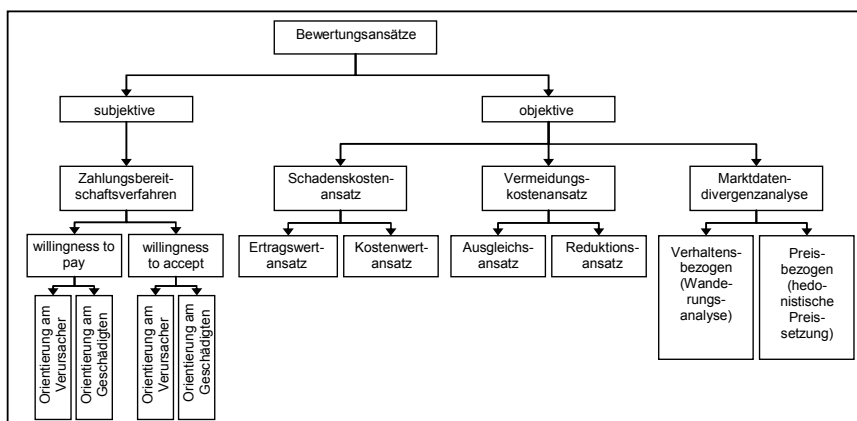


Abbildung 3-3: Verfahren für die monetäre Bewertung verkehrlicher Wirkungen, [Baum et al. 1998]

3.2.1 Zahlungsbereitschaftsverfahren

Die zur Gruppe der Zahlungsbereitschaftsverfahren gehörenden "willingness-to-pay"- und "willingness-to-accept"-Methoden versuchen das Grundproblem bei der monetären Bewertung von nicht direkt marktfähigen Gütern dadurch zu umgehen, dass sie über Befragungen Zahlungsbereitschaften für das betreffende Gut ermitteln. Da der Ansatz auf der Einschätzung der Befragten und nicht auf reellem Marktverhalten basiert, gilt er als subjektiver Ansatz.

"Willingness-to-pay"-Verfahren ermitteln dabei die Bereitschaft

- der Verursacher der Schädigung für die schädigende Handlung zu zahlen oder
- der Geschädigten für die Unterlassung der schädigenden Handlung zu zahlen.

"Willingness-to-accept"-Ansätze bestimmen hingegen die Bereitschaft

- des Verursachers für die Unterlassung einer Schädigung Ausgleichszahlungen zu akzeptieren oder
- des Geschädigten für die Duldung einer Schädigung Ausgleichszahlungen zu akzeptieren.

Bei Anwendung von Zahlungsbereitschaftsverfahren kommt i. d. R. die "willingness-to-pay"-Methode zum Einsatz, bei der Geschädigte nach ihrer Zahlungsbereitschaft befragt werden.

Für die Anwendung des Zahlungsbereitschaftsverfahrens spricht, dass mit ihm verkehrliche Wirkungen bewertet werden können, für die bislang keine Daten über die Wirkungsbeziehungen und Schadenshöhen vorliegen oder die keinen Einfluss auf die Wertschöpfung haben.

Zahlungsbereitschaftsverfahren sind aber auch mit einer Vielzahl von Problemen behaftet:

Je nach verfolgtem Ansatz können sich für ein und dieselbe Fragestellung voneinander erheblich abweichende Kostensätze ergeben. So führt laut **[BAUM ET AL. 1998]** die Anwendung von willingness-to-pay-Verfahren zu geringeren Kostensätzen als Verfahren, die auf dem willingness-to-accept-Konzept basieren. Ein weiteres Problem liegt in der Ermittlung der Kostensätze bzw. den damit verbundenen Befragungen. Die ermittelten Kostensätze variieren mit der Qualität der Befragung. Selbst bei hohen Anforderungen an die Qualität der Befragung kann nicht ausgeschlossen werden, dass der ermittelte Kostensatz von der Zahlungsbereitschaft im Falle eines realen Marktes abweicht. Dieser Umstand liegt zum einen an der Informationslage der Befragten, die zwischen realer Marktsituation und Befragung Abweichungen aufweisen kann. Zum anderen kann eine hypothetische Situation nur bedingt mit realen Bedingungen verglichen werden. Als Indiz dafür ist geltend zu machen, dass Kostensätze nach Zahlungsbereitschaftsverfahren generell höher ausfallen als solche, die mit anderen Bewertungsverfahren, die nicht auf Befragungen basieren, ermittelt wurden. In diesem Zusammenhang muss auch erwähnt werden, dass ein strategisches Antwortverhalten bei Befragungen nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. Da im Bereich der Zahlungsbereitschaftsverfahren enorme methodische Weiterentwicklungen zu verzeichnen sind, können die bisher aufgeführten Probleme allerdings als zunehmend vernachlässigbar erachtet werden.

Das maßgebliche Defizit von Zahlungsbereitschaftsverfahren ist, dass mit ihnen lediglich die Nachfrage einer Marktsituation nachgebildet wird, da sie den individuellen Nutzenverlust der befragten Personen mit dem zu ermittelnden Marktpreis gleichsetzen. Marktpreise ergeben sich nach dem Modellbild der Mikroöko-

nomie aber aus dem Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage⁵. Marktpreise lassen sich daher nicht allein mit Zahlungsbereitschaftsverfahren ermitteln. Es tritt zwangsläufig eine Kostenüberschätzung ein.

3.2.2 Schadenskostenansatz

Beim Schadenskostenansatz werden die zu ermittelnden Marktpreise der durch Verkehr geschädigten Güter aus den Kosten, die aus der Schädigung des Guts resultieren, abgeleitet. Dazu sind umfangreiche Daten und die genaue Kenntnis über die Schadenswirkung bezogen auf das zu bewertende Gut notwendig. Diese Anforderung stellt gleichzeitig das Hauptproblem dieses Verfahrens dar: Da die Schädigung bestimmter Güter (z.B. die menschliche Gesundheit) auf eine Vielzahl von Ursachen (Luftverunreinigung durch Verkehr, Industrie und Haushalte, falsche Ernährung, mangelnde Bewegung, Stress etc.) zurückzuführen ist, ist die Ermittlung des Anteils der Schadenswirkung eines einzelnen Verkehrsteilnehmers häufig nur schwer möglich.

Weiterhin erlaubt der Schadenskostenansatz ausschließlich die Bewertung von Schäden, die Auswirkungen auf die Wertschöpfung haben. Immaterielle Schäden ohne derartige Auswirkungen, wie z. B. menschliches Leid infolge von Verletzungen oder Erkrankungen, lassen sich mit dem Schadenskostenansatz nicht monetär bewerten.

Es sind zwei Unterarten der Bewertung nach dem Schadenskostenansatz zu unterscheiden, mit Hilfe derer Kostensätze entwickelt werden:

- **Ertragswert oder lost-output**
Bei diesem Ansatz wird der zukünftige Beitrag des geschädigten Guts zum Bruttosozialprodukt als Grundlage herangezogen.
- **Kostenwert**
Grundlage für die Ableitung von Kostensätzen sind bei diesem Ansatz die bis zum Schadenseintritt mit der Herstellung oder dem Erwerb des Guts verbundenen Kosten. Außerdem können auch Kosten für die Wiederherstellung des Guts herangezogen werden.

3.2.3 Vermeidungskostenansatz

Der Vermeidungskostenansatz wird häufig dann bemüht, wenn eine Schädigung zwar außer Frage steht, die genaue Höhe und die Wirkungen allerdings noch nicht abschätzbar sind.

⁵ s. Abbildung 2-2

Der Vermeidungskostenansatz wird auch Zielerreichungskosten- oder Prohibitivansatz genannt und erlaubt die Quantifizierung der Kosten zur Vermeidung von Schäden bzw. Beschränkung derselben auf ein definiertes Maß. Der zu ermittelnde Marktpreis des geschädigten Guts wird mit diesen Vermeidungskosten gleichgesetzt.

Zum Vermeidungskostenansatz gehören die zwei folgenden Untertypen:

- Reduktionsansatz

Beim Reduktionsansatz werden die Kosten ermittelt, die für Maßnahmen anfallen, die ein Entstehen der Schäden verhindern oder begrenzen.

- Ausgleichsansatz:

Der Ausgleichsansatz erfasst Kosten, die für Ausgleichsmaßnahmen aufgewendet werden. Es handelt sich hierbei nicht um die Wiederherstellung des speziellen geschädigten Guts, sondern um die Erstellung eines vergleichbaren Guts. Ziel des Ausgleichs ist es, durch die Erstellung des vergleichbaren Guts insgesamt den Schaden aufzuheben und demzufolge keinen Nettoschaden verbleiben zu lassen.

Auch mit dem Vermeidungskostenansatz sind erhebliche Probleme verbunden. Die Höhe der Kosten hängt vor allem vom Zielstandard, der noch toleriert wird oder als tolerierbar definiert wird, ab. Dieser Umstand wird am Beispiel "Lärmschutz für ein Einfamilienhaus" verdeutlicht:

Es wird angenommen, dass der Schalldruckpegel ursächlich auf eine sich in direkter Umgebung befindende Hauptverkehrsstraße zurückzuführen ist. Wird von einem Schalldruckpegel $L_{DEN} = 70 \text{ db(A)}$ ohne Lärmschutzmaßnahmen ausgegangen, so entstehen, wie in Abbildung 3-4 dargestellt, keine Vermeidungskosten.

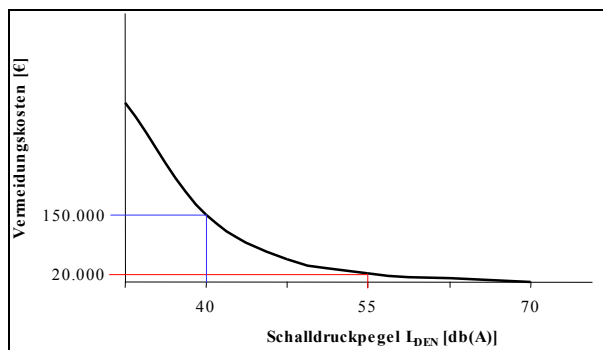


Abbildung 3-4: Beispiel für die Höhe von Vermeidungskosten in Abhängigkeit vom Zielstandard des Schalldruckpegels, eigene Darstellung

Lautet der Zielpegel $L_{DEN} = 55 \text{ dB(A)}$, betragen die Vermeidungskosten durch den Einbau von Lärmschutzfenstern 20.000 €. Wird hingegen der Zielpegel auf $L_{DEN} = 40 \text{ dB(A)}$ festgelegt, müssen neben dem Einbau der Lärmschutzfenster weitere Maßnahmen, wie der Bau einer Lärmschutzwand und der Einbau von offenporigem Asphalt, ergriffen werden. Durch diese kostenintensiven Maßnahmen steigen die Vermeidungskosten überproportional an und liegen nun bei 150.000 €. Allgemein ist festzuhalten, dass bei zunehmenden Zielstandards ein überproportionaler Anstieg der Vermeidungskosten zu verzeichnen ist. Da die gesetzten Zielstandards häufig das Ergebnis politischer Diskussionen sind und sich nicht an den tatsächlichen Schadenswirkungen orientieren, werden die tatsächlich entstehenden Kosten i. d. R. unterschätzt. Vermeidungskosten stellen also die Untergrenze der tatsächlich entstehenden Kosten dar.

Mit dem angeführten Beispiel wird ein weiteres Problem des Vermeidungskostenansatzes deutlich. Im genannten Beispiel wäre eine Reduktion des Schalldruckpegels von 70 dB(A) auf 55 dB(A) alternativ auch durch den Bau der Lärmschutzwand und das Einbringen von offenporigem Asphalt möglich. Dadurch ergäben sich aber für diese Reduktion nicht Kosten in Höhe von 20.000 €, sondern in Höhe von 130.000 €. Die Höhe der Vermeidungskosten hängt also auch wesentlich von den eingesetzten Vermeidungstechniken ab. Diese Vermeidungstechniken weisen neben der reinen Vermeidung auch weitere Eigenschaften auf, die u. U. weitere Einschränkungen für die Geschädigten mit sich bringen. So ist der Einbau von Lärmschutzfenstern nur dann effektiv, wenn auf Lüften bei geöffneten Fenstern verzichtet wird. Beim Bau einer Lärmschutzwand und dem Einbau von offenporigem Asphalt sind Lüftungsvorgänge möglich, ohne die Vermeidungswirkung dieser Maßnahmen zu reduzieren.

Anhand des gewählten Beispiels kann noch ein weiteres Defizit des Vermeidungskostenansatzes erläutert werden. Lärmschutzfenster schützen nicht nur vor Straßenlärm, sondern können auch die Lärmbelastung durch andere Quellen, wie z. B. durch Nachbarn, reduzieren. Die ermittelten Kosten könnten also nicht allein dem Straßenverkehr angelastet werden, da die mit ihnen verbundenen Maßnahmen auch zur Vermeidung anderer schadhafter Wirkungen dienen.

Weiterhin ist mittels des Vermeidungskostenansatzes eine Monetarisierung von Wirkungen, die keinen Einfluss auf die Wertschöpfung haben, nicht möglich.

3.2.4 Marktdatendivergenzanalyse

Bei der Marktdatendivergenzanalyse stellt der Preisunterschied eines marktfähigen Guts aufgrund von ungleichen Ausprägungen eines nicht direkt marktfähigen Guts zwischen mehreren Situationen die Grundlage für die Bewertung des nicht direkt marktfähigen Guts dar. Die Eigenschaften und Nutzungsmöglichkei-

ten des marktfähigen Guts werden durch die unterschiedliche Ausprägung des nicht direkt marktfähigen Guts derart beeinflusst, dass sich dessen Preis zwischen den Situationen unterscheidet. Aus der Divergenz des Preises des marktfähigen Guts wird der Marktpreis für das nicht direkt marktfähige Gut abgeleitet.

Bei der Bewertung verkehrlicher Wirkungen wird dieser Ansatz vor allem zur Bewertung von Lärm herangezogen. Dabei wird der Unterschied der Immobilien- und Mietpreise (Preis) von Grundstücken und Häusern (marktfähiges Gut) durch ungleiche Ausprägungen der Lärmbelastung (Ruhe als nicht direkt marktfähiges Gut) als Grundlage zur Bewertung unterschiedlicher Schalldruckpegel verwendet. Diese Anwendungsform der Marktdatendivergenzanalyse wird auch als Immobilienpreisansatz bezeichnet.

Der Ansatz basiert dabei i. d. R. auf der multivariaten Regressionsanalyse, bei der der Immobilien- oder Mietpreis als zu erklärende Größe und eine Reihe von Grundstücks- und Gebäudeattributen als erklärende Variablen eingehen. In der derart aufgestellten Funktion stellt der Koeffizient des Schalldruckpegels den Preis für Ruhe dar. Dieser Koeffizient wird international auch als Noise Sensitivity Depreciation Index (NSDI) bezeichnet und gibt den prozentualen Wertverlust der Immobilie (auf Jahreswerte diskontiert) oder den prozentualen Rückgang der Miete pro Dezibel an.

Ein wesentlicher Vorteil des Ansatzes ist, dass die abgeleiteten Kostensätze auf Daten einer realen Marktsituation basieren. Allerdings ist auch eine Reihe von Nachteilen mit der Marktdatendivergenzanalyse im Zusammenhang mit der Bewertung von Verkehrslärm verbunden:

- Die lärmbedingte Änderung von Immobilien- und Mietpreisen ist i. d. R. die Folge einer Anpassungsreaktion der Wohnbevölkerung. Diese wird sich allerdings erst dann nach einer Alternative zu ihrem jetzigen Wohnort umsehen, wenn die lärmbedingten Kosten die Kosten für eine teurere Wohnung mit geringerer Lärmbelastung übersteigen. Damit werden Lärmkosten mit der Marktdatendivergenzanalyse nur dann erfasst, wenn diese zu Verhaltensänderungen der Wohnbevölkerung führen. Derart ermittelte Kostensätze für Verkehrslärm unterschätzen die tatsächlich entstehenden Kosten damit systematisch.
- Der Immobilien- und Mietpreis hängt von einer Vielzahl häufig miteinander korrelierender Einflussgrößen ab. Der Einfluss eines einzelnen Parameters kann daher häufig nur schwer isoliert werden. Im Weiteren kann nicht vorausgesetzt werden, dass Wohnungssuchende immer vollständige Informationen über die Ausprägung jeder Einflussgrößen haben. Diese werden häufig erst nach der Entscheidung für die Immobilien oder Wohnung deutlich.

- Die dem Ansatz zugrunde liegende Annahme einer freien Preisbildung ist insbesondere auf dem Wohnungsmarkt durch staatliche Eingriffe (Einschränkungen bei der Erhöhung der Mieten etc.) nicht gegeben.
- Die Untersuchungen von **[SMITH, HUANG 1995]** und **[SCHIPPER 1996]** zeigen auf, dass die Ergebnisse von Analysen, die auf dem Immobilienpreisansatz basieren, stark von den lokalen, häufig sehr spezifischen Bedingungen des Immobilienmarktes abhängen. Damit lassen sich die z. T. starken Unterschiede verschiedener Studien erklären.

Verkehrliche Wirkungen ohne Einfluss auf die Wertschöpfung entziehen sich einer Bewertung durch die Marktdatendivergenzanalyse.

3.2.5 Bewertungsverfahren in der vorliegenden Arbeit

Bei der Bewertung verkehrlicher Wirkungen wird entsprechend der Darstellung in Abbildung 3-5 zwischen der Monetarisierung von Schäden mit und ohne Auswirkungen auf die Wertschöpfung unterschieden.

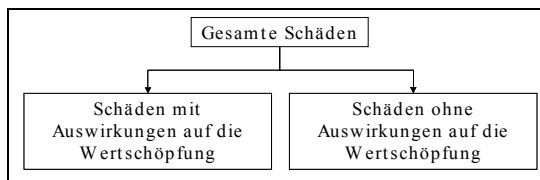


Abbildung 3-5: Unterteilung der Schäden, eigene Darstellung

Immaterielle Schäden ohne Auswirkungen auf die Wertschöpfung können nur durch Anwendung von Zahlungsbereitschaftsverfahren bewertet werden. Zahlungsbereitschaftsverfahren werden in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht angewendet, da die Ermittlung von Marktpreisen durch ausschließliche Analyse von Nachfragedaten nicht sachgerecht ist. In diesem Zusammenhang muss auch hinterfragt werden, ob Schäden ohne Auswirkungen auf die Wertschöpfung überhaupt bei der Ermittlung externer Kosten berücksichtigt werden sollten. Nach Meinung des Verfassers der vorliegenden Arbeit ist ein solches Vorgehen nicht zielführend. Dies gilt insbesondere für die Bewertung des menschlichen Leidens, das sich jeglicher monetärer Bewertung entzieht. Befürworter der Bewertung dieser Wirkungen argumentieren, dass keine Zahlungsbereitschaften für die Minderung menschlichen Leids erfragt werden, sondern "(...) Personen befragt [werden], wie viel zu zahlen sie bereit wären, um die Wahrscheinlichkeit tödlicher Straßenverkehrsunfälle zu senken" **[MAIBACH ET AL. 2000: S. 20]**. Dennoch dienen derart ermittelte Kostensätze "dazu, Schmerzen Kummer und

Leid eines durchschnittlichen Verkehrsunfallopfers monetär zu bewerten" [MAIBACH ET AL. 2000: S. 20]. Es erscheint weiterhin fraglich, ob die zu ihrer Zahlungsbereitschaft befragten Personen diesem Gedankenkonstrukt folgen und tatsächlich nur ihre Zahlungsbereitschaft für die Risikoverminderung angeben. Der Verfasser der vorliegenden Arbeit vermutet, dass Befragte zu dieser Abstraktion nicht fähig sind und daher Zahlungsbereitschaften angeben, die weit über denen einer realen Marktsituation liegen. Lügen die Zahlungsbereitschaften zur Risikoverminderung tatsächlich in den ermittelten Wertebereichen, müsste sich dieser Umstand deutlicher im Verkehrsverhalten der einzelnen Individuen widerspiegeln. Menschliches Leid wird in ausländischen Studien z. T. auch über Schmerzensgeldzahlungen von Gerichten bewertet. Diese Vorgehensweise ist für Deutschland nicht zulässig, da im deutschen Rechtssystem mit Schmerzensgeldzahlungen maßgeblich ein Ausgleich für humanitäre Schäden (Betroffene leiden an psychischen Belastungen mit pathologischem Krankheitsbild, müssen ihre Lebensplanung umstellen und leiden zukünftig wahrscheinlich an Folgeerkrankungen) geschaffen werden soll. Diese humanitären Schäden sind aber deutlich von immateriellen Schäden, die keine Auswirkungen auf die Wertschöpfung haben, zu unterscheiden, da mit humanitären Schäden sehr wohl Auswirkungen auf die Wertschöpfung in Form von Folgekosten einhergehen. Die Schmerzensgeldzahlungen von Gerichten werden daher in der vorliegenden Arbeit zur Ermittlung der Kosten aus humanitären Schäden und nicht zur Bewertung immaterieller Schäden herangezogen.

Insgesamt ist festzuhalten, dass immaterielle Schäden ohne Auswirkungen auf die Wertschöpfung in der vorliegenden Arbeit keine Berücksichtigung finden.

Die Gesamtheit der Kosten aus Schäden mit Auswirkungen auf die Wertschöpfung bestehen aus Schadens- und Schadensverringerkosten.

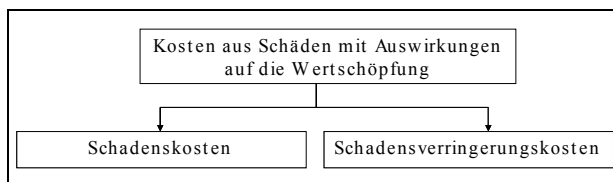


Abbildung 3-6: Kosten aus Schäden mit Auswirkungen auf die Wertschöpfung, eigene Darstellung

Als Schadenskosten sind in diesem Zusammenhang Kosten definiert, die aus der Schädigung der betrachteten Güter resultieren, während Schadensverringerkosten die Kosten für die bereits umgesetzten und ergriffenen Schadensverringerkostenmaßnahmen beziffern.

Die aktuelle Situation zeichnet sich dadurch aus, dass Schäden infolge von Verkehr aufgrund fehlender Internalisierungsstrategien in hohem Maße als externe Kosten von Dritten und nur zu geringem Teil von den Verursachern selbst getragen werden. Das bedeutet, dass für jeden Kostenbereich die gesamten Schadenskosten errechnet und bezüglich ihrer internen und externen Bestandteile unterteilt werden müssen. Damit ist keineswegs gemeint, dass durch Anwendung des Schadenskostenansatzes alle Schadenskosten automatisch erfasst werden, da das Verfahren aufgrund der mit ihm verbundenen Probleme⁶ i. d. R. nicht die Gesamtheit der Schadenskosten erfasst.

Momentan werden aufgrund des fehlenden Marktes für von Verkehr tangierte, öffentliche Güter wenige Strategien zur Verringerung ihrer Schädigung verfolgt. Maßnahmen zur Schadensverringerung werden meist nur zur Erfüllung gesetzlicher Anforderungen ergriffen. Dazu zählen z. B. Lärmschutzmaßnahmen wie der Bau von Lärmschutzwänden oder die Verwendung von offenporigem Asphalt beim grundhaftem Aus- oder Neubau von Straßen zur Erfüllung der Anforderungen des Bundesimmissionsschutzgesetzes **[BIMSchG 2007]**. Soweit diese Maßnahmen direkt im Straßenraum ergriffen werden oder Bestandteil der Fahrzeugtechnik sind, sind die mit den Maßnahmen verbundenen Schadensverringerungskosten bereits Bestandteil der Wegekostenrechnung (als Komponente der Kapitalkosten der Straße) oder werden von den Verursachern durch den Erwerb des Fahrzeugs selbst getragen. Da diese Untersuchung die Ergänzung der Wegekostenrechnung um bisher unberücksichtigte externe Kosten zum Ziel hat, müssen diese Schadensverringerungskosten hier nicht näher betrachtet werden. Die verbleibenden, bisher weder bei der Wegekostenrechnung berücksichtigten noch anderweitig internalisierten Schadensverringerungskosten, die z. B. mit dem privaten Einbau von Lärmschutzfenstern verbunden sind, können aufgrund mangelnder Daten nur schwer geschätzt werden und bleiben daher in der vorliegenden Untersuchung unberücksichtigt.

Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit stehen somit die externen Bestandteile der Schadenskosten, die - soweit möglich - mit Hilfe des Schadenskostenansatzes ermittelt werden, da dieser Ansatz unter den objektiven Verfahren die - wie gezeigt werden konnte - geringsten Nachteile aufweist. Die Anwendung des Verfahrens ist allerdings nur möglich, wenn umfangreiche Daten und wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse hinsichtlich der quantitativen Wirkung von Verkehr vorliegen. Ist die Anwendung des Schadenskostenansatzes aufgrund fehlender Kenntnisse hinsichtlich der Wirkung von Verkehr nicht möglich, werden entweder der Vermeidungskostenansatz oder die Marktdatendivergenzanalyse

⁶ s. S. 22

herangezogen. Die Entscheidung, welches der beiden Verfahren zur Anwendung kommt, hängt vom jeweils betrachteten Kostenbereich ab. Mit dem Vermeidungskostenansatz werden nicht die in diesem Unterkapitel erläuterten, aus den momentanen Schadensverringerungsstrategien entstehenden Kosten, sondern die potenziellen Kosten im Falle der Vermeidung der momentan entstehenden Schäden ermittelt. Um eine Berücksichtigung aller Schäden mit Auswirkungen auf die Wertschöpfung zu ermöglichen, werden – so weit möglich – auch langfristige und weltweite Wirkungen berücksichtigt. Diese Festlegung gilt insbesondere für Wirkungen von Klimagasemissionen.

Zur Bewertung werden auch Studien aus dem Ausland hinzugezogen, jedoch wird berücksichtigt, dass Kostensätze aus dem Ausland aufgrund unterschiedlicher gesamtwirtschaftlicher Situationen nur in modifizierter Form übernommen werden sollten.

Insgesamt stellen die in dieser Arbeit ermittelten Kostensätze und die auf ihrer Basis berechneten externen Kosten aufgrund dieser Festlegungen im Vergleich zu den Ergebnissen bereits vorliegender Studien die Untergrenze ihrer möglichen Bandbreite dar. Es handelt sich somit um eine aus Verursachersicht vermeintlich günstige Abschätzung externer Kosten.

3.3 Diskontrate

Um zukünftige oder vergangene Kosten mit heutigen Werten zu vergleichen, werden diese mit der Diskontrate ab- bzw. aufgezinzt. In bisherigen Studien wurde die Diskontrate meist zu 0 % oder 3 % angesetzt.

Bei der Wahl der Diskontrate spielen unterschiedliche Fragestellungen eine Rolle. Einerseits ist die individuelle Zeitpräferenz zu beachten, nach der zum jetzigen Zeitpunkt anfallende Kosten als größere Belastung empfunden werden, als wenn diese erst in Zukunft auftreten. Dieser Umstand gilt auch, wenn angenommen wird, dass keine Inflation herrscht, da Individuen auch dann den Geldbetrag zur Deckung der Kosten zum heutigen Zeitpunkt zum langfristigen Kapitalmarktzins anlegen könnten und bei Zahlung der Kosten in der Zukunft aufgrund gezahlter Zinsen über einen Geldbetrag verfügten, der den zur Deckung der Kosten übersteigt. Dieses Prinzip führt zu einer Diskontrate größer Null. Andererseits sollten aber zukünftige Kosten - insbesondere wenn sie von nachfolgenden Generationen getragen werden müssen - im Sinne einer intergenerationalen Gerechtigkeit mit den heute anfallenden gleichgesetzt werden. Demnach wäre die Diskontrate zu 0 % zu wählen. Detaillierte Erläuterungen der unterschiedlichen Konzepte sind z. B. bei **[FRIEDRICH, KREWITT 1997]** und **[UBA 2007]** dokumentiert.

In der vorliegenden Arbeit wird einheitlich mit einer vom Verfasser gewählten Diskontrate von 2 % gearbeitet. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird dieser Wert variiert. Damit wird versucht, die berechtigten Argumente sowohl der Befürworter einer null- als auch der einer dreiprozentigen Diskontrate zu berücksichtigen.

3.4 Preisstand

Die Kostensätze werden für alle betrachteten Kostenbereiche zum Preisstand des Jahres 2004 angegeben, da für dieses Jahr bereits Kostensätze für einige der Kostenbereiche vorliegen. Umrechnungen erfolgen auf der Basis von Inflationsraten⁷ oder auf der Grundlage von speziell für die Bereiche bekannten Faktoren.

3.5 Betrachtete Kostenbereiche

Die Europäische Union gibt in **[KOM 2006A]** bereits vor, welche Kostenbereiche bei der Berechnung externer Kosten im Zuge der Festlegung von Straßenbenutzungsgebühren betrachtet werden sollen (s. Kapitel 1.1).

[MAIBACH ET AL. 2007] nennen als wesentliche Kostenarten Kosten infolge von Kapazitätsengpässen der Infrastruktur, Unfallkosten und Kosten zu Lasten der Umwelt / des Umfeldes.

Diese drei Kostenarten beinhalten nach **[MAIBACH ET AL. 2007]** folgende Kostenbereiche:

- Staukosten
- Unfallkosten
- Lärmkosten
- Kosten durch Beiträge zum Klimawandel
- Kosten durch Luftverschmutzung
- Kosten für Natur und Landschaft
- Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung
- Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse des Verkehrs
- Kosten durch Nutzung sensibler Gebiete

⁷ Zwischen 1994 und 2004 lag die durchschnittliche jährliche Inflationsrate der Verbraucherpreise laut [DESTATIS 2009] bei 1,4%.

- Zusätzliche Kosten in innerstädtischen Gebieten

Welche dieser Kostenbereiche in der vorliegenden Arbeit betrachtet werden, hängt davon ab, ob sie für Autobahnen relevant sind und ob sie maßgebende externe Kostenbestandteile aufweisen. Im folgenden Text und den Kapiteln 3.5.1 bis 3.5.11 wird diesen Fragen nachgegangen.

Zur Beantwortung der Frage, ob Kosten einen externen Charakter haben, ist die Abgrenzung des Clubs⁸, also der Personen oder Personengruppen, die als Verursacher der externen Kosten auftreten, von entscheidender Bedeutung. Wird bspw. die Weltbevölkerung des Jahres 2005 als dem Club zugehörige Gruppe betrachtet, so entstehen nur Externalitäten gegenüber zukünftigen Generationen. Die externen Kosten sind demnach sehr viel geringer als bei einer personenfeinen Definition des Clubs. Ähnliches gilt im Straßenverkehr. Erzeugt ein Verkehrsteilnehmer bei einem Parkvorgang ausschließlich Sachschaden an einem fremden Kfz und begeht in dessen Folge Fahrerflucht, sind die entstandenen Kosten nur dann extern, wenn eine personenfeine Abgrenzung des Clubs zugrunde gelegt wird. Wird die Aktivität "Verkehrsteilnahme" als die die Mitglieder des Clubs charakterisierende Kenngröße gewählt, gelten die durch den Unfall entstandenen Kosten als intern. Die Abgrenzung hat also einen erheblichen Einfluss auf die Höhe des externen Kostenanteils der Kostenbereiche und damit auch auf die Entscheidung, welche der Kostenbereiche berücksichtigt werden müssen.

Wird sich dieser Problematik mit einer wirtschaftswissenschaftlichen Betrachtungsweise genähert, wird klar, dass die personenfeine Club-Definition zusammen mit der Internalisierung aller dann auftretenden Externalitäten zu wohlfahrtsoptimierten Fahrleistungen führt. Dies wird ebenfalls deutlich, wenn die Aussage der Abbildung 2-1 ins Gedächtnis gerufen wird: eine Abweichung der privaten von der sozialen Grenzkostenkurve führt zu Wohlfahrtsverlusten. Diese Verluste entstehen aber unabhängig von der Frage, ob sie als extern definiert sind. In jedem Fall sollte die private Grenzkostenkurve der sozialen angepasst werden, da nur dann ein Maximum an Wohlfahrt erzeugt wird.⁹ Daraus ließe sich zunächst ableiten, dass eine personenfeine Club-Definition angemessen ist.

In der bisherigen Berechnungspraxis externer Kosten wird eine strikte personenfeine Betrachtung jedoch selten konsequent über alle Kostenbereiche hinweg eingehalten. Vielmehr erfolgt eine personenfeine Betrachtung nur für Kostenbereiche, für die die vorliegenden Bewertungsverfahren eine derart differenzierte

⁸ s. Kapitel 2.2

⁹ s. Kapitel 2.2

Sichtweise zulassen (wie bspw. hinsichtlich der Staukosten), während bei anderen Bereichen (wie z. B. Lärm oder Luftschadstoffe) nur die schadhafte Wirkung auf Anwohner bewertet wird.

In der vorliegenden Arbeit, in der vordringlich das Ziel der Kostendeckung der externen Kosten verfolgt wird, steht die Steuerung der Verkehrsnachfrage zur Erzielung wohlfahrtsoptimierter Fahrleistungen weniger im Vordergrund¹⁰. Daher wird bei der Auswahl der betrachteten Kostenbereiche in Kauf genommen, dass sich durch die Internalisierung der errechneten Kosten hinsichtlich der Wohlfahrt suboptimale Fahrleistungen einstellen können. Vielmehr soll aber durch die Auswahl der Kostenbereiche und der bewerteten verkehrlichen Wirkungen gewährleistet werden, dass die einmal getroffene Abgrenzung der Personengruppe, die als Verursacher der externen Kosten auftritt, überwiegend eingehalten wird. Damit soll eine methodische Konsistenz der Bewertung der einzelnen Kostenbereiche erreicht werden.

Für die Arbeit wird nach reiflicher Überlegung der komplexen Zusammenhänge nachfolgende Abgrenzung vorgenommen:

Verkehrliche Wirkungen, die Personen, die durch die Aktivität Verkehrsteilnahme gekennzeichnet sind¹¹, oder Angehörige, deren Haushalte bzw. direkte Familienangehörige¹² schädigen, gelten als intern und werden nicht weiter betrachtet. Gleiches gilt, falls die Schädigung von Wirtschaftssubjekten getragen werden muss, die die Verkehrsteilnehmer mit der Fahrt beauftragt haben. Als extern gelten alle übrigen verkehrlichen Schadenswirkungen.

Im Folgenden werden alle oben genannten Kostenbereiche auf Relevanz für die weitere Untersuchung überprüft.

3.5.1 Staukosten

Mit dem Begriff Staukosten werden Kosten umschrieben, die aus Reisezeitverlusten und erhöhten Betriebsaufwendungen der Verkehrsteilnehmer resultieren und durch gegenseitige Behinderungen von Verkehrsteilnehmern im Verkehrsablauf verursacht werden. Sie entstehen nicht nur im Stau bzw. gebundenen Verkehr, sondern bereits bei Verkehrsstärken, die unterhalb der aktuellen Kapazitätsgrenze des Querschnitts liegen. Der Begriff Staukosten ist daher irreführend. Dieser Ausdruck wird dennoch in der vorliegenden Arbeit verwendet, da dieser Kostenbereich in der EU-Richtlinie **[KOM 2006A]** und im Handbuch von **[MAL-**

¹⁰ s. Kapitel 3.1.3

¹¹ Diese Personengruppe wird im Weiteren vereinfachend als "Verkehrsteilnehmer" bezeichnet.

¹² Im Sinne der Unterhaltspflicht gemäß § 1601 [BGB 2009].

BACH ET AL. 2007] auch als Staukosten bezeichnet wird. Weitere Kosten, die ebenfalls ursächlich auf gegenseitige Behinderungen von Verkehrsteilnehmern im Verkehrsablauf zurückzuführen sind (z. B. durch vermehrte Luftschadstoffmissionen infolge von Stau), werden im Rahmen anderer Kostenbereiche betrachtet (z. B. im Kostenbereich "Kosten durch Luftverschmutzung").

In Abbildung 3-7 sind die private und soziale Grenzkostenkurve der Zeit- und Betriebskosten pro Fahrzeugkilometer in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke idealisiert dargestellt. Für den freien Verkehr verlaufen beide Kurven mit konstanter Steigung. Erst ab dem Übergang zum gebundenen Verkehr steigen beide Kurvenverläufe exponentiell an. Die private Grenzkostenkurve verläuft unterhalb der sozialen Grenzkostenkurve, da ein zusätzlich einen Streckenabschnitt befahrender Verkehrsteilnehmer nicht nur selbst Zeit- und Betriebskostenverluste durch die ihm vorausfahrenden Verkehrsteilnehmer erleidet, sondern auch zusätzlich bei den hinter ihm fahrenden Verkehrsteilnehmern für einen minimalen Zuwachs der Zeit- und Betriebskosten sorgt. Diese minimalen Zuwächse ergeben in der Summe über alle Verkehrsteilnehmer den dargestellten Unterschied zwischen den Verläufen der beiden Grenzkostenfunktionen.

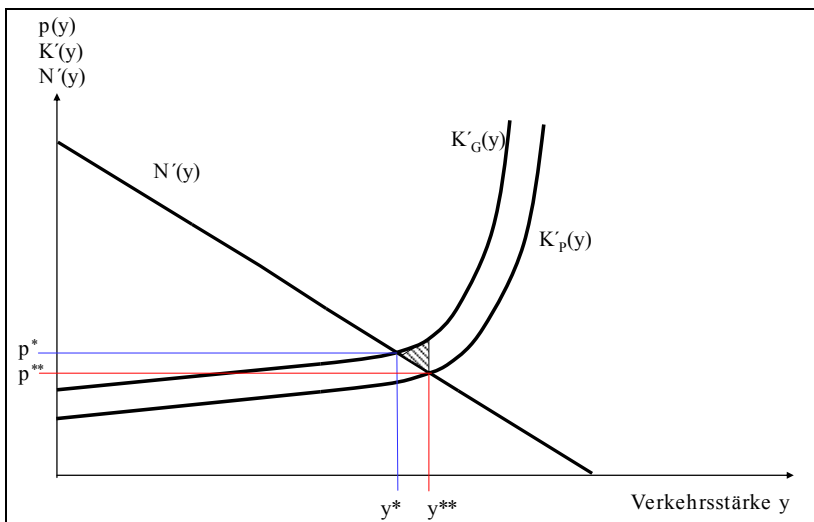


Abbildung 3-7: Staukosten, in Anlehnung an [Eckey, Stock 2000]

Da der einzelne Verkehrsteilnehmer nur seine private Grenzkostenkurve in sein Kalkül einbezieht, ergibt sich die Verkehrsstärke y^{**} als Schnittpunkt der privaten Grenzkosten- und der sozialen Grenznutzenkurve. Im Sinne der Erläuterungen des Kapitels 2.2 wohlfahrtsoptimiert wäre dagegen die Verkehrsstärke y^* , die

durch den Schnittpunkt der sozialen Grenznutzen- mit der sozialen Grenzkostenkurve definiert ist. Es entsteht ein Wohlfahrtsverlust in Höhe der schraffierten Fläche.

Da die so genannten Staukosten entweder innerhalb des in dieser Arbeit definierten Clubs bleiben oder weitgehend durch Marktbeziehung auf Dritte überwältzt werden, gelten sie nicht als externe Kosten. Es sind auch Fälle denkbar, bei denen Teile der Staukosten über komplexe und vielschichtige Beziehungen direkt auf Dritte übertragen werden. Da dieser externe Anteil der Staukosten vom Verfasser der vorliegenden Arbeit als gering eingeschätzt wird, werden Staukosten insgesamt bei der Ermittlung externer Kosten nicht weiter berücksichtigt.

3.5.2 Unfallkosten

Straßenverkehrsunfälle ziehen unterschiedliche Kosten nach sich, die z. T. direkt oder indirekt durch die Unfallbeteiligten und die von ihnen zu diesem Zweck abgeschlossenen Kfz-Versicherungen übernommen werden. Es verbleiben aber dennoch Kosten, die ohne Marktbeziehungen auf Dritte bzw. die Allgemeinheit übertragen werden, wie nachfolgendes Beispiel zeigt:

Infolge eines Fahrfehlers kommt ein Verkehrsteilnehmer mit seinem Fahrzeug von der Fahrbahn ab und prallt auf ein Hindernis. Die Person zieht sich dabei derart schwere Verletzungen zu, dass sie nicht mehr für den eigenen Lebensunterhalt aufkommen kann. Weiterhin ist die Person alleinstehend. Der Staat, also die Gemeinschaft der Steuerzahler, muss durch Zahlungen von Sozialleistungen für den Lebensunterhalt der verletzten Person aufkommen. Die dadurch dem Staat entstehenden Kosten werden nicht von der Kfz-Versicherung des verunfallten Verkehrsteilnehmers übernommen und gelten als extern.

Unfallkosten werden daher in dieser Untersuchung detailliert betrachtet und hinsichtlich interner und externer Bestandteile untersucht.

3.5.3 Lärmkosten

Durch das Abrollen von Reifen auf der Fahrbahn, die Aggregate der Kraftfahrzeuge und den Fahrtwind erzeugt Straßenverkehr Lärm, der z. B. zur Schädigung der Gesundheit der sich dauerhaft in der Umgebung aufhaltenden Personen führen kann. Die Kosten zur Wiederherstellung der Gesundheit von durch Straßenlärm geschädigten Personen werden über festgesetzte Beiträge von den Mitgliedern der Krankenkassen getragen. Die Sozialkassen verzichten aufgrund der Zuordnungsproblematik auf Regressforderungen an die Verursacher. Damit handelt es sich um externe Kosten, die einer Berücksichtigung in der vorliegenden Arbeit bedürfen. Dabei werden auch weitere Wirkungen von Straßenverkehrslärm betrachtet.

3.5.4 Kosten durch Beiträge zum Klimawandel

So genannte Klimagase sind u. a. ein Produkt der Verbrennung fossiler Treibstoffe. Sie tragen durch ihre chemischen Eigenschaften langfristig zum Klimawandel bei. Damit entfalten sie ihre schädliche Wirkung insbesondere in der Zukunft. Die mit ihrer Emission durch den heutigen Straßenverkehr verbundenen Kosten werden auf zukünftige Generationen übertragen, da von den heutigen Verursachern keine finanziellen Rücklagen zur Beseitigung zukünftiger Schäden gebildet werden. Es handelt sich also auch bei diesem Kostenbereich um externe Kosten, die im Weiteren berücksichtigt werden.

3.5.5 Kosten durch Luftverschmutzung

Bei der Verbrennung fossiler Kraftstoffe durch Otto- und Dieselmotorkraftfahrzeuge werden Stoffe freigesetzt, die z. B. eine schädigende Wirkung auf die menschliche Gesundheit haben. Die daraus resultierenden Kosten werden – ähnlich wie im Kostenbereich "Lärmkosten" – nicht von den Verursachern getragen. Damit handelt es sich um externe Kosten, die in der Arbeit ebenfalls berücksichtigt werden.

3.5.6 Kosten für Natur und Landschaft

Durch den Bau bzw. die Existenz von Autobahnen werden Landschaftsräume zerschnitten, das Landschaftsbild beeinträchtigt und Flächen versiegelt. Damit nutzen die Verkehrsteilnehmer dieser Infrastruktur die öffentlichen Güter Natur bzw. Landschaft insbesondere zu Lasten touristischer Wirtschaftszweige ohne dafür Ausgleichszahlungen vorzunehmen. Es ergeben sich externe Kosten, die einer Behandlung in der vorliegenden Arbeit bedürfen.

3.5.7 Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung

Durch den Abrieb von Reifen und des Straßenoberbaus, die Verbrennung fossiler Kraftstoffe sowie Bremsvorgänge werden Schwermetalle freigesetzt und gelangen in der Umgebung von Straßen in das Erdreich und das Grundwasser. Die damit einhergehenden Verunreinigungen und weiteren Folgen sind mit Kosten verbunden, die von der Allgemeinheit getragen werden. Demnach beinhaltet auch dieser Kostenbereich externe Kosten und wird in dieser Arbeit weiter betrachtet.

3.5.8 Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse

Verkehr bringt neben den schadhafte Wirkungen, die durch die eigentlichen Verkehrsvorgänge entstehen, noch weitere Effekte mit sich, die auf externe

Kostenbestandteile untersucht werden müssen. So fallen bei der Herstellung der Treib- und Schmierstoffe zusätzliche Luftschadstoffemissionen an. Auch der Fahrzeugbau und die -instandhaltung sowie der Infrastrukturbau und die -instandhaltung bringen solche Emissionen mit sich. Zwar werden teilweise Vermeidungsmaßnahmen zur Reduktion dieser Emissionen auf ein definiertes Niveau (gesetzlich vorgegebene Grenzwerte) ergriffen, die sich in den Energie- und Fahrzeugpreisen widerspiegeln und damit internalisiert sind. Sämtliche schadhafte Wirkungen können aber aufgrund der Wahl der Reduktionsniveaus nicht vermieden werden. Somit ergeben sich externe Kosten, die in dieser Arbeit erfasst werden.

3.5.9 Kosten durch Nutzung sensibler Gebiete

Als sensibel werden in diesem Zusammenhang insbesondere Gebiete verstanden,

- die durch hohe Umweltrestriktionen gekennzeichnet sind,
- in denen bei gleicher Emission höhere Schäden als in vergleichbaren Gegenden erwartet werden und/oder
- in denen einzigartige Naturlandschaften oder ein kulturelles Erbe in Gefahr sind.

Diese Gebiete sollen separat untersucht werden. In den vorliegenden Studien wurden insbesondere alpine Gebiete als sensibel eingestuft und einer derartigen besonderen Betrachtung unterzogen. Dabei ergaben sich für einige der oben genannten Kostenkomponenten externe Kosten, die deutlich über denen der nicht-sensiblen Bereiche lagen. In der vorliegenden Arbeit werden die externen Kosten abschnittsweise ermittelt. Dadurch werden sensible Bereiche mit ihren erhöhten externen Kosten ohnehin aufgedeckt und eine spezielle Berücksichtigung durch Anpassung der Berechnungsmethodik ist nicht erforderlich.

3.5.10 Zusätzliche Kosten in innerstädtischen Gebieten

Straßen, die durch innerstädtische Gebiete verlaufen, zerschneiden diese. Für Fußgänger ergeben sich Zeitverluste durch notwendig werdende Überquerungen der Straßen. Außerdem beanspruchen Straßen in Ballungsräumen einen Teil der ohnehin begrenzt zur Verfügung stehenden Fläche. In der vorliegenden Arbeit wird auf die Ermittlung der damit verbundenen zusätzlichen Kosten verzichtet, da sie laut [MAIBACH ET AL. 2007: S. 97] bei praktisch durchgeführten Bewertungen ohnehin einen sehr kleinen Anteil der Gesamtkosten darstellen. Der Berechnungsaufwand steht somit nicht im Verhältnis zum erwartbaren Einfluss dieses Kostenbereichs auf das Gesamtergebnis.

3.5.11 Weitere Kostenbereiche

Neben den bisher genannten Bereichen werden in verschiedenen Studien vereinzelt auch weitere Kostenbereiche (z. B. Kosten durch Erschütterungen) berücksichtigt. In der vorliegenden Arbeit wird auf die Behandlung dieser Kostenbereiche verzichtet, da sie nicht Gegenstand des Handbuchs von **[MAIBACH ET AL. 2007]** sind und sich die Ermittlung des Wertegerüsts auch nach Auffassung von **[SCHREYER ET AL. 2006]** aufgrund mangelhafter Datengrundlagen als schwierig erweist.

3.6 Mengengerüst und Allokationsrechnung

Das zu bewertende Mengengerüst soll - so weit möglich - aus bereits vorhandenen Daten bestehen, um eine schnelle und einfache Anwendung und Übertragbarkeit der Berechnungsmethodik zu ermöglichen. Bei allen Kostenbereichen wird angestrebt, Daten des Jahres 2005 zu verwenden.

Das Mengengerüst setzt sich i. d. R. aus zwei Bestandteilen zusammen: Einem kostenbereichsspezifischen Teil, der direkt mit den Kostensätzen bewertet wird (z. B. Unfallzahlen), und einem allgemeinen Teil, der für alle Kostenbereiche gleich ist und zur Allokation oder als Grundlage für die Ermittlung des kostenbereichsspezifischen Mengengerüsts dient (Informationen über Länge, DTV und SV-Anteil der betrachteten Abschnitte).

Um eine abschnittsbezogene Allokation vorzunehmen, muss der kostenbereichsspezifische Teil des Mengengerüsts abschnittsfein vorliegen oder es müssen vereinfachende Annahmen hierzu getroffen werden. Ist eine abschnittsbezogene Allokation nicht möglich, wird darauf verzichtet. Für die fahrzeugklassenbezogene Allokation sollte weiterhin bekannt sein, welchen direkten Einfluss die beiden in dieser Arbeit unterschiedenen Fahrzeugklassen auf den kostenbereichsspezifischen Teil des Mengengerüsts haben. Ist dies nicht der Fall, muss die fahrzeugklassenbezogene Allokation über andere wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse hinsichtlich der Unterschiede der betrachteten Fahrzeugklassen (z. B. bezogen auf den Schadstoffausstoß) erfolgen. Nach Ermittlung der abschnitts- und fahrzeugklassenbezogenen Kosten werden jeweils fahrleistungsbezogene Kostensätze unter Beachtung des allgemeinen Teils des Mengengerüsts angegeben, sofern die Kostensätze nicht bereits fahrleistungsbezogen vorliegen. Die Veröffentlichung von **[KATHMANN ET AL. 2007]** beinhaltet detaillierte Angaben zur Länge, zur DTV und zum SV-Anteil aller Autobahnabschnitte für das Jahr 2005 und wird daher als allgemeiner Teil des Mengengerüsts verwendet. Da **[KATHMANN ET AL. 2007]** jedoch Busse und Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 3,5 Tonnen als Schwerverkehr definieren, ist diese Unterteilung nicht mit der Fahrzeugklasseneinteilung der vorliegenden

Arbeit identisch. Daher wird unter Berücksichtigung von Fahrleistungen auf Autobahnen im Jahr 2002¹³ ein SV-Anteil für Lkw ≥ 12 t zGG ermittelt, der 66,3 %¹⁴ des ursprünglichen SV-Anteils ausmacht. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass die für das Gesamtnetz dargestellte prozentuale fahrzeugklassenbezogene Aufteilung der Fahrleistungen auch auf einzelne Abschnitte übertragbar ist.

Um eine Konsistenz beider Teile des Mengengerüsts zu gewährleisten, sollten die kostenbereichsspezifischen Teile ebenfalls aus dem Jahr 2005 stammen.

3.7 Zusammenfassung

Aufgrund der diskutierten Vor- und Nachteile basiert die zu entwickelnde Berechnungsmethodik auf folgenden Grundlagen:

- Kostenrechnungsart: Durchschnitts- bzw. Vollkostenrechnung
- Diskontrate: 2 %
- Preisstand: 2004
- Wertegerüst: Nur Schadenskosten von Schäden mit Auswirkungen auf die Wertschöpfung werden ermittelt. Der Schadenskostenansatz wird zur Bestimmung des Wertegerüsts favorisiert. Sollte kein Bewertungsverfahren nach dem Schadenskostenansatz vorhanden sein oder im Rahmen der Arbeit erstellt werden können, wird je nach Verfügbarkeit auf den Vermeidungskostenansatz oder die Marktdatendivergenzanalyse zurückgegriffen. Zahlungsbereitschaftsverfahren kommen nicht zur Anwendung.
- Betrachtete Kostenbereiche:
 - Unfallkosten
 - Lärmkosten
 - Kosten durch Beiträge zum Klimawandel
 - Kosten durch Luftverschmutzung
 - Kosten für Natur und Landschaft
 - Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung

¹³ Für 2005 lagen keine nach zulässigem Gesamtgewicht der Lkws differenzierten Daten vor. Unter der Annahme, dass die prozentualen Anteile der Fahrzeugkategorien und der Gewichtsklassen in den Jahren 2002 und 2005 identisch sind, wurden daher Daten des Jahres 2002 von [Hautzinger et al. 2005] verwendet.

¹⁴ s. Anhang A

- Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse
- Mengengerüst/Allokation: Das Mengengerüst soll aus Gründen der Praktikabilität, Übertragbarkeit und Vergleichbarkeit aus vorliegenden Daten des Jahres 2005 bestehen. Die Allokation besteht aus einer abschnittsbezogenen, fahrzeugklassenbezogenen und fahrleistungsbezogenen Zuordnung der Kosten, die auf der Basis des kostenbereichsspezifischen oder allgemeinen Mengengerüsts durchgeführt wird.

4 Entwicklung der Berechnungsmethodik

Im Folgenden wird für jeden der betrachteten Kostenbereiche die Berechnungsmethodik zur Ermittlung externer Kosten hergeleitet. Neben einer allgemeinen Einleitung zum Kostenbereich werden dabei zunächst die Wirkungen beschrieben, die zu externen Kosten führen. Im Anschluss wird das Wertegerüst und die zu dessen Ermittlung eingesetzten Bewertungsverfahren erläutert. In diesem Rahmen wird jeweils ein Überblick über vorliegende Studien gegeben. Abschließend wird das Mengengerüst definiert und die Allokationsrechnung erläutert.

Aufgrund der getroffenen methodischen Festlegungen bspw. hinsichtlich der einzusetzenden Bewertungsverfahren oder der gewählten Definition des Clubs liegen die im Rahmen der vorliegenden Arbeit ermittelten Kostensätze im Vergleich zu anderen Studien zur Thematik der externen Kosten des Straßenverkehrs im unteren Wertebereich. Weiterhin muss vor allem aufgrund von derzeitigen Quantifizierungsproblemen davon ausgegangen werden, dass die tatsächlichen externen Kosten des Verkehrs deutlich über den in dieser Arbeit ermittelten Ergebnissen liegen.

4.1 Unfallkosten

4.1.1 Einführung

Infolge von Straßenverkehrsunfällen treten Personen- und Sachschäden auf.

Zur Klassifizierung von Personenschäden hat sich in der straßenverkehrsbezogenen Unfallforschung die Unterteilung in Getötete, Schwerverletzte und Leichtverletzte durchgesetzt. Als getötet gelten dabei Personen, die innerhalb von 30 Tagen an den Unfallfolgen des Straßenverkehrsunfalls sterben. Als schwerverletzt werden Personen bezeichnet, die unmittelbar zur stationären Behandlung (mindestens 24 Stunden) in einem Krankenhaus aufgenommen werden. Leichtverletzte hingegen sind Personen, die bei einem Straßenverkehrsunfall verletzt werden, aber nicht unmittelbar zur stationären Behandlung in einem Krankenhaus aufgenommen werden. Für Personenschäden werden i. d. R. Kostensätze pro getöteter, schwerverletzter und leichtverletzter Person ermittelt.

Um neben der personen- auch eine unfallbezogene Betrachtungsweise der Schäden zu ermöglichen, werden Unfälle in die in Tabelle 4-1 dargestellten sieben Kategorien eingeteilt.

Tabelle 4-1: Unfallkategorienbeschreibung; in Anlehnung an [FGSV 2003]

Unfallkategorie	Beschreibung
1	Unfälle mit mindestens einem getöteten Verkehrsteilnehmer
2	Unfälle mit mindestens einem schwerverletzten Verkehrsteilnehmer, aber keinem Getöteten
3	Unfälle mit mindestens einem leichtverletzten Verkehrsteilnehmer, aber keinem Getöteten oder Schwerverletzten
4	Unfälle mit Sachschaden und Straftatbestand oder Ordnungswidrigkeitsanzeige, bei denen mindestens ein Kfz nicht mehr fahrbereit ist
5	Sachschadenumfälle <ul style="list-style-type: none"> ▪ mit Straftatbestand oder Ordnungswidrigkeitsanzeige ohne Alkohol, bei denen alle Kfz fahrbereit sind ▪ mit lediglich geringfügiger Ordnungswidrigkeit (Verwarnung), unabhängig davon, ob Kfz fahrbereit sind
6	Alle übrigen Sachschadenumfälle mit Alkohol

Kostensätze für Sachschäden werden üblicherweise pro Unfall der in Tabelle 4-1 dargestellten Unfallkategorien bestimmt.

4.1.2 Betrachtete Wirkungen

Im Zusammenhang mit Verkehrsunfällen treten Personen- und Sachschäden auf. Daraus resultierende immaterielle Schäden ohne Auswirkungen auf die Wertschöpfung werden entsprechend den Festlegungen des Kapitels 3.2.5 nicht betrachtet. Weiterhin wird bei der folgenden Wahl des Bewertungsverfahrens berücksichtigt, dass ein Teil der genannten Wirkungen von den speziell zum Zweck der Verkehrsteilnahme abgeschlossenen Versicherungen getragen wird und damit internalisiert ist.

4.1.3 Bewertungsverfahren/Wertegerüst

4.1.3.1 Vorstellung verschiedener Verfahren

In Deutschland existieren seit geraumer Zeit Verfahren zur Ermittlung der volkswirtschaftlichen Kosten aus Straßenverkehrsunfällen, mit denen die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) in regelmäßigen Abständen Kostensätze neu berechnet. Die Kostensätze zur Bewertung von Sachschäden wurden erstmals systematisch von [EMDE ET AL. 1979] ermittelt, während die Kostensätze für Personenschäden auf die Untersuchung von [KRUPP, HUNDHAUSEN 1984] zurückgehen. Beide Verfahren wurden in der Folge überarbeitet, die letztmaligen Aktualisierungen und Überarbeitungen erfolgten von [BAUM, HÖHNSCHIED 1999] und [BAUM ET AL. 2000]. Beide Verfahren verfolgen den Schadenskostenansatz und berücksichtigen daher Wirkungen von Unfällen, soweit sie zur Minderung der Wertschöpfung beitragen. Zur Ermittlung der Schadenshöhen

wird auf Daten der mit der Schadensregulierung befassten Institutionen zurückgegriffen. Die über das Verfahren ermittelten Kostensätze kommen auch im Rahmen anderer Bewertungsfragen im Verkehrswesen, z. B. im Rahmen des Regelwerks **[FGSV 1997]**, zum Einsatz. Da das Bewertungsverfahren den für diese Arbeit getroffenen methodischen Festlegungen entspricht, eignet es sich prinzipiell für die vorliegende Untersuchung. Sollte es zur Anwendung kommen, müssen die Kostensätze jedoch in ihre externen und internen Bestandteile zerlegt werden.

Bei **[NEUSCHWANDER ET AL. 1991]** werden für die Schweiz soziale und externe Kostensätze pro Unfall (Sachschaden) bzw. verunfallter Person (Personenschaden) unter Verwendung des Schadenskostenansatzes errechnet. Die Methodik ähnelt der Vorgehensweise von **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** und **[BAUM ET AL. 2000]**, allerdings werden auf die Schweiz bezogene Daten herangezogen. Der Vergleich der Kostensätze von **[NEUSCHWANDER ET AL. 1991]** und **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** sowie **[BAUM ET AL. 2000]** ergibt insgesamt dennoch nur geringfügige Unterschiede. Bei der Ermittlung der externen Kostensätze werden folgende Definitionen verwendet:

- Als extern gelten alle Kosten, die nicht vom Unfallverursacher getragen werden.
- Als extern gelten alle Kosten, die nicht vom Verkehrsträger "Straßenverkehr" getragen werden.

Für die vorliegende Arbeit ist die zweite Definition von externen Kosten relevant, da sie der hier verwendeten Einteilung sehr nahe kommt.

Das Bewertungsverfahren nach **[NEUSCHWANDER ET AL. 1991]** entspricht weitgehend den methodischen Anforderungen dieser Arbeit. Da die zugrunde liegenden Daten aus der Schweiz stammen, müsste jedoch eine Anpassung der Kostensätze vorgenommen werden. Gegen die Verwendung der von **[NEUSCHWANDER ET AL. 1991]** ermittelten Kostensätze spricht die mangelnde Aktualität der Untersuchung.

Die Studien von **[MAUCH ET AL. 1995]**, **[MAIBACH ET AL. 2000]**, **[LINK ET AL. 2002]**, **[SOMMER ET AL. 2002]**, **[SCHREYER ET AL. 2004A]**, **[BECKER ET AL. 2002]**, **[GERIKE 2005]** und **[SOMMER ET AL. 2007]** können hinsichtlich der verwendeten Verfahren zur Ermittlung externer Unfallkosten zusammengefasst werden, da sie auf nahezu der gleichen Methodik basieren. Diese Methodik wurde von **[MAUCH ET AL. 1995]** durch Modifizierung der Vorgehensweise von **[NEUSCHWANDER ET AL. 1991]** entwickelt und im Laufe der Jahre unter Berücksichtigung neuer Forschungserkenntnisse zur Bewertung einzelner Kostenkomponenten weiterentwickelt. Dadurch wurden u. a. differenziertere Daten-

grundlagen für die Berechnung herangezogen, was zu einer größeren Genauigkeit hinsichtlich der Bewertungsergebnisse einzelner Kostenkomponenten von Unfällen führte. Insgesamt werden in allen Studien Kosten aus Schäden mit und ohne Auswirkungen auf die Wertschöpfung bestimmt. Zur Ermittlung von Kosten aus Schäden mit Auswirkungen auf die Wertschöpfung wird wie bei **[NEUSCHWANDER ET AL. 1991]** sowie **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** und **[BAUM ET AL. 2000]** auf den Schadenskostenansatz zurückgegriffen, z. T. werden die Kostensätze dieser Untersuchungen auch übernommen. Die Kostensätze zur Berücksichtigung von Schäden ohne Auswirkungen auf die Wertschöpfung werden über Zahlungsbereitschaftsverfahren bestimmt. Diese immateriellen Schäden werden über den VOSL (Value Of Statistical Life) erfasst, mit dem Schmerz, Kummer und Leid im Zusammenhang mit einer getöteten Person bewertet werden. Die Ermittlung des VOSL war in den vergangenen 20 Jahren Inhalt vieler nationaler und internationaler Forschungsprojekte. Die Kosten des Schmerzes und des Leids nicht-tödlicher Straßenverkehrsunfälle werden meist anteilig zum VOSL bestimmt. Gebräuchliche Werte liegen bei 13 % des VOSL für Schwerverletzte und 1 % des VOSL für Leichtverletzte. **[MAIBACH ET AL. 2000]** und **[NELLTHROP ET AL. 2001]** geben jeweils einen Überblick über die in den 1990er Jahren dazu durchgeführten Untersuchungen und leiten daraus gemittelte Kostensätze ab, die auch in neueren Kostenberechnungen, wie z. B. **[GERIKE 2005]** und **[SOMMER ET AL. 2007]**, zur Anwendung kommen. Der Einsatz von Zahlungsbereitschaftsverfahren und die Bewertung von Schäden ohne Auswirkungen auf die Wertschöpfung entspricht nicht den methodischen Festlegungen der vorliegenden Arbeit. Daher wäre eine Modifizierung der Methodik in diesem Punkt notwendig, sollte sie hier eingesetzt werden. Des Weiteren wird bei der Ermittlung der Kosten infolge des Ausfalls der Verunfallten im Wirtschaftsprozess, den Ressourcenausfallkosten, das Nettoprinzip verfolgt. Generell können die Ressourcenausfallkosten brutto und netto angegeben werden.

Dabei gilt folgende Differenzierung für die personenbezogenen Ressourcenausfallkosten:

- Bruttoressourcenausfallkosten: gesamter, durch die Schädigung zukünftig ausfallender Beitrag zur Wertschöpfung durch die betroffene Person
- Nettoressourcenausfallkosten: Bruttoressourcenausfallkosten abzüglich des zukünftigen Konsums der betroffenen Person

Da unabhängig von der späteren Verwendung die Wertschöpfung um den Bruttobetrag reduziert wird, müssen die Ressourcenausfallkosten generell unter Anwendung des Bruttoprinzips berechnet werden. Die Anwendung des Nettoprinzips mag bei Berücksichtigung eines Kostensatzes zur Bewertung des

VOSL, der nach Auffassung von **[MAUCH ET AL. 1995]** den künftigen Verbrauchsausfall bzw. Eigenkonsum mit darstellt, schlüssig sein. Damit ergibt sich indirekt wiederum das Bruttoprinzip. Da diese Vorgehensweise in dieser Arbeit aber ausgeschlossen wird, muss die Berechnung der Ressourcenausfallkosten nach dem Bruttoprinzip erfolgen.

Aufgrund der Abweichungen der Bewertungsverfahren von **[MAUCH ET AL. 1995]**, **[MAIBACH ET AL. 2000]**, **[LINK ET AL. 2002]**, **[SOMMER ET AL. 2002]**, **[SCHREYER ET AL. 2004A]**, **[BECKER ET AL. 2002]**, **[GERIKE 2005]** und **[SOMMER ET AL. 2007]** von den in der vorliegenden Arbeit getroffenen methodischen Festlegungen werden sie hier nicht angewendet.

4.1.3.2 Gewählte Bewertungsmethodik

Nach Diskussion der aktuell verwendeten Verfahren zur Ermittlung von Unfallkosten hinsichtlich der Eignung für die vorliegende Arbeit verbleibt nur der von **[BAUM, HÖHNSCHEID 1999]** und **[BAUM ET AL. 2000]** verfolgte Ansatz. Da in diesen Untersuchungen allerdings volkswirtschaftliche Kostensätze pro verunfallter Person bzw. pro Unfall angegeben sind, müssen diese noch in ihre internen und externen Kostenbestandteile zerlegt werden.

Im Einzelnen werden zur Bewertung von Personenschäden bei **[BAUM, HÖHNSCHEID 1999]** folgende Kostenkomponenten betrachtet:

- Direkte Reproduktionskosten berücksichtigen die Kosten, die zur Behandlung der verunfallten Personen und ihrer beruflichen Wiedereingliederung aufgewendet werden. Sie bestehen aus
 - Kosten der stationären Behandlung, die sich aus der medizinischen Behandlung von stationär aufgenommenen verunfallten Personen ergeben;
 - Kosten der ambulanten Behandlung, die alle sonstigen Kosten umfassen, die aus der medizinischen Betreuung resultieren;
 - Reha-Kosten, die entstehen, wenn verunfallte Personen nach einer stationären Behandlung in Rehabilitationszentren weiterbehandelt werden;
 - Pflegekosten, die sich aus der Notwendigkeit zeitweiser oder dauerhafter Pflege von Verletzten ergeben¹⁵;

¹⁵ Da im Untersuchungszeitraum von [Baum, Höhnscheid 1999] die Pflegeversicherung als fünfte Pflichtversicherung der Sozialversicherungen noch nicht bestand und die damit verbundenen Kostenänderungen noch nicht berücksichtigt werden konnten, weichen die angesetzten Kosten u. U. von heutigen Daten ab.

- Krankentransportkosten, die alle Kosten umfassen, die im Zusammenhang mit dem Transport der verunfallten Personen und des medizinischen Personals entstehen;
 - Nachbehandlungskosten, die aus therapeutischen Begleitmaßnahmen des Genesungsprozesses der verunfallten Personen resultieren;
 - Kosten für Hilfsmittel, die alle Sachleistungen, die im Zusammenhang mit der Verletzung benötigt werden, umfassen sowie
 - Förderungskosten, die im Rahmen der beruflichen Rehabilitation und der Eingliederung der verunfallten Personen in das Alltagsleben entstehen.
- Indirekte Reproduktionskosten resultieren aus dem Versuch die Rechtslage wiederherzustellen und bestehen aus
- Polizeikosten, die die Personal- und Sachkosten umfassen, die durch den Einsatz der Polizei bei Unfällen entstehen;
 - Justizkosten, die die Rechtsanwaltskosten und die bei den Gerichten entstehenden Kosten zur Klärung der Schuldfrage abdecken;
 - Versicherungskosten, die aus Verwaltungskosten der mit Unfällen befassten Versicherungen (Krankenversicherungen, Unfallversicherungen, Kfz- und Haftpflichtversicherungen sowie Rechtsschutzversicherungen) bestehen¹⁶;
 - Neubesetzungskosten, die Kosten der Arbeitgeber für Anwerbung, Ausbildung und Einarbeitung neuer Mitarbeiter umfassen sowie dem
 - Sterbegeld, das Zahlungen von Versicherungen an die Hinterbliebenen von bei Straßenverkehrsunfällen getöteten Personen repräsentiert¹⁷.
- Ressourcenausfallkosten (brutto) geben die Kosten des Ausfalls der verunfallten Personen im Wirtschaftsprozess an und sind abhängig von

¹⁶ Aufgrund der sich zwischenzeitlich geänderten Gesetzeslage bezüglich der Pflegeversicherung müssten deren anteilige Verwaltungskosten ebenfalls mit aufgenommen werden.

¹⁷ Das Sterbegeld war im Wesentlichen eine Leistung der Sozialversicherungen, deren Zahlung im Jahr 2004 eingestellt wurde. Das Sterbegeld sollte die Bestattungskosten decken. Auch bei Wegfall der Sterbegeldzahlungen muss ein Betrag für die Deckung der Beerdigungskosten angesetzt werden, da hierfür nach wie vor Kosten anfallen.

- der Anzahl der getöteten Personen und ihrer Ausfalljahre sowie
- der Anzahl Schwer- und Leichtverletzter und ggf. der Dauer ihrer Arbeitsunfähigkeit, stationären Behandlung, Rehabilitation, Pflege und Minderung der Erwerbstätigkeit.
- Humanitäre Kosten werden über Schmerzensgeldzahlungen erfasst und umfassen Kosten, die
 - infolge psychischer Beeinträchtigungen der verunfallten Personen oder ihrer Angehörigen zu verzeichnen sind und in Form zusätzlicher Behandlungskosten eigenständiger Krankheiten, wie z. B. Depressionen und damit einhergehender Arbeitsunfähigkeit, auftreten;
 - aufgrund einer durch den Unfall bedingten Änderung der Lebensführung und -planung eintreten sowie
 - durch eine unfallbedingte höhere Wahrscheinlichkeit, zukünftig an Krankheiten zu leiden, auftreten.
- Außermarktliche Kosten beinhalten Verluste bei der Produktion von Gütern und Leistungen, die nicht Bestandteil des Sozialproduktes sind. Sie werden nicht durch die oben genannten Reproduktions- und Ressourcenausfallkosten erfasst, da diese lediglich die marktlichen Wertschöpfungsverluste abbilden. Zu den außermarktlichen Kosten zählen durch Personenschäden entstandene Verluste im Bereich der illegalen Schwarzarbeit¹⁸ und Hausarbeit.

Die Bewertung von Schäden aus Sachkosten wird über folgende Kostenkomponenten vorgenommen:

- Direkte Reproduktionskosten geben die Höhe der Kosten zur Reparatur beschädigter Sachgüter an und bestehen aus
 - Reparaturkosten, welche die Kosten zur Reparatur der beschädigten Fahrzeuge umfassen, und
 - sonstigen Sachschadenskosten (Kosten für Gutachten über die Schadenshöhe von verunfallten Fahrzeugen, Ab-, An- und Ummeldekosten für Fahrzeuge, Kosten für Mietwagen für die Dauer der Reparaturen, Kostenpauschalen für allgemeine

¹⁸ Bei [Baum, Höhnscheid 1999] wird zwischen legaler und illegaler Schwarzarbeit unterschieden.

Mehraufwendungen im Zusammenhang mit Unfällen, Sachschäden bei Dritten).

- Indirekte Reproduktionskosten, die – ähnlich wie bei der Bewertung von Personenschäden – Kosten zur Wiederherstellung der Rechtslage umfassen und sich ebenfalls aus
 - Polizeikosten
 - Justizkosten und
 - Versicherungskosten zusammensetzen.
- Ressourcenausfallkosten geben die Kosten infolge des Ausfalls des Sachkapitals im Wirtschaftsprozess an und ergeben sich in Abhängigkeit vom
 - Fahrzeugwert und
 - der Dauer des Nutzungsausfalls des Fahrzeugs.
- Außermärkliche Kosten umfassen Verluste im Bereich der illegalen Schat-
tenwirtschaft, die durch den Sachschaden bedingt sind.

Im Folgenden werden die einzelnen Kostenkomponenten zusammen mit einer kurzen Begründung, ob es sich um interne oder externe Kosten handelt, nochmals dargestellt. Dabei werden Aufwendungen der Kfz-Haftpflichtversicherungen als Internalisierungsbeiträge interpretiert, da diese Versicherungen nur Risiken abdecken, die aus der Teilnahme am Verkehrsgeschehen resultieren. Die Gruppe der Verkehrsteilnehmer kommt also für die von den genannten Versicherungen getragenen Kosten der Unfälle durch eigene Versicherungsbeiträge auf. Kosten, die ohnehin innerhalb des im Kapitel 3.5 definierten Clubs verbleiben, gelten ebenfalls als internalisiert. Dazu zählen insbesondere alle Kosten, die von den Unfallbeteiligten selbst getragen werden.

Obwohl eine klare Schuldzuweisung meist nicht möglich ist (häufig tragen mehrere Unfallbeteiligte eine Teilschuld), muss bei der Berechnung der Höhe der externen Kostenbestandteile zwischen Unfallverursachern und Nicht-Unfallverursachern (im Weiteren als Unfallopfer bezeichnet) unterschieden werden, da die Sozialversicherungen die ihnen entstehenden Kosten im Zusammenhang mit der Versorgung von Unfallopfern bei Personenschäden z. T. von den Kfz-Haftpflichtversicherungen des Unfallverursachers zurückfordern. Hinsichtlich der Kosten, die durch die Behandlung von Unfallverursachern entstehen, bestehen keine derartigen Regressmechanismen; die Beitragszahler der Sozialversicherungen müssen für diese Kosten voll aufkommen. Damit werden diese Kosten für Unfallopfer bereits teilweise internalisiert, während sie für Unfallverursacher zu den externen Kosten zählen. Der hinsichtlich der Unfallopfer

bereits internalisierte Kostenanteil wird im Folgenden in Anlehnung an die Vorgehensweise von **[NEUSCHWANDER ET AL. 1991]** und **[BECKER ET AL. 2002]** abgeschätzt. Im Jahr 2004 erbrachten die Kfz-Haftpflichtversicherungen Leistungen in Höhe von 18.200.000.000 €. Nach **[BICKEL 1995]** wird der Anteil der Leistungen, der im Zusammenhang mit Personenschäden¹⁹ aufgewendet wird, zu 20 % (hier: 2.560.000.000 €) abgeschätzt. Dieser Betrag wird entsprechend den von **[NEUSCHWANDER ET AL. 1991]** ermittelten Verhältniswerten und der Anzahl der verunglückten Unfallopfer des Jahres 2004, die auf der Basis von **[DESTATIS 2010]** und **[BAUM, KLING 1997]** abgeschätzt werden, auf die Unfallfolgen aufgeteilt (s. Tabelle 4-2).

Tabelle 4-2: Mittlere Zahlungen der Kfz-Haftpflichtversicherungen

Unfallschwere	Verhältniswert der Unfallschwere	Anzahl der Unfallopfer 2004	Mittlere Zahlungen der Kfz-Haftpflicht pro Fall [€]
Getötete	47,42	1.519	324.315
Schwer-verletzte	2,98	29.573	20.381
Leichtverletzte	1	214.158	6.839

Diese Zahlungen werden zur Deckung der direkten Reproduktionskosten, Versicherungskosten, des Sterbegelds, der Ressourcenausfallkosten, der humanitären Kosten und der außermärklichen Kosten im Bereich der Hausarbeit herangezogen²⁰, deren Summe im Jahr 2004 für Getötete 1.270.392 €, für Schwerverletzte 75.339 € und für Leichtverletzte 3.158 € beträgt.

Daraus ergibt sich ein mittlerer Kostendeckungsgrad von 26 % für Getötete, 27 % für Schwerverletzte und 100%²¹ für Leichtverletzte.

¹⁹ Sachschäden sind in diesem Zusammenhang nicht von Relevanz, da die Sozialversicherungen in keiner Weise für die damit verbundenen Kosten aufkommen. Hier besteht lediglich die Möglichkeit, dass das Unfallopfer Regressansprüche gegenüber der Haftpflichtversicherung des Unfallverursachers geltend macht. Sollten die Zahlungen der Haftpflichtversicherungen nicht zur Deckung aller Kosten ausreichen, muss das Unfallopfer selbst für sie aufkommen. Aufgrund der gewählten Abgrenzung zwischen internen und externen Kosten verbleiben diese Kosten aber in jedem Fall innerhalb des Clubs und sind damit bereits internalisiert.

²⁰ Neben den Sozialversicherungen können auch die Unfallopfer bzw. deren Angehörige Regressansprüche gegenüber den Haftpflichtversicherungen des Unfallverursachers geltend machen und Ausgleichszahlungen für Beerdigungskosten, Verdienstausfälle und Haushaltsführungsschäden einfordern.

²¹ Die ermittelten Zahlungen der Kfz-Haftpflichtversicherungen betragen hinsichtlich leichtverletzter Personen ca. das Zweifache der entstehenden Kosten. Dieses Ergebnis ist auf die getroffenen Annahmen zum Anteil der Leistungen, der von den Versicherungen im Zusammenhang mit Personenschäden aufgewendet wird und zu den Verhältniswerten der Tabelle 4-2 zurückzuführen. Da unklar ist, welche der Annahmen fehlerhaft ist und abweichende Annahmen nicht begründet werden können, wird für Leichtverletzte vereinfachend von einem Kostendeckungsgrad von 100 % ausgegangen.

Unfallopfer – Interne Kosten

Die **Kosten für die Verkehrspolizei** werden bereits bei der Wegekostenrechnung von [ROMMERSKIRCHEN ET AL. 2002] bzw. [ROMMERSKIRCHEN ET AL. 2007] ermittelt und berücksichtigt. Damit wären sie bei konsequenter Anlasung der Ergebnisse der Wegekostenrechnung bereits internalisiert.

Im Falle eines tödlich verunglückten Unfallopfers trägt die Haftpflichtversicherung des Unfallverursachers zu den oben genannten Anteilen die Kosten für die Beerdigung. Die verbleibenden Kosten werden in den meisten Fällen von den direkten Familienangehörigen des Unfallopfers übernommen. Es wird angenommen, dass die Kosten nur in Ausnahmefällen von staatlichen Einrichtungen gezahlt werden. Somit trägt der in Kapitel 3.5 definierte Club das bei [BAUM, HÖHN-SCHEID 1999] angesetzte **Sterbegeld**, das den Beerdigungskosten entsprechen soll, zum überwiegenden Teil. Es wird daher vereinfachend als bereits vollständig internalisiert betrachtet.

Die **Ressourcenausfallkosten aus Personen- und Sachschäden** werden zu den auf dieser Seite genannten Anteilen von der Haftpflichtversicherung des Unfallverursachers getragen. Die verbleibenden Kostenanteile werden von den Unfallopfern in Form von Einkommensverlusten übernommen. Die Ressourcenausfallkosten zählen damit vollständig zu den in Kapitel 3.5 definierten internen Kosten.

Die Höhe der **humanitären Kosten** errechnet sich über Schmerzensgeldzahlungen an die Unfallopfer bzw. an deren direkte Familienangehörige. Da diese Zahlungen von den Unfallverursachern bzw. deren Haftpflichtversicherungen getragen werden, sind sie bereits internalisiert.

Unfallverursacher bzw. deren Haftpflichtversicherungen müssen für so genannte Haushaltsführungsschäden auf Seiten der Unfallopfer finanziell aufkommen. Diese Zahlungen entsprechen für Getötete 26 %, für Schwerverletzte 27 % und für Leichtverletzte 100 %²² der außermärklichen Kosten in Zusammenhang mit Hausarbeit. Die verbleibenden Anteile dieser Kostenkomponente werden von den Unfallopfern bzw. deren Haushaltsangehörigen getragen, Belastungen für die Allgemeinheit sind nahezu ausgeschlossen. Verluste durch Produktionsausfälle in der illegalen Schattenwirtschaft fallen beim Unfallopfer an. Die Allgemeinheit trägt nicht zur Deckung dieser Kosten bei. Damit gelten die **außermärklichen Kosten in Zusammenhang mit Hausarbeit und Schattenwirtschaft** als internalisiert.

²² s. S. 54

Da die Haftpflichtversicherungen der Unfallverursacher oder die Unfallopfer selbst für **Reparaturkosten und sonstige Sachschadenskosten** aufkommen, fallen diese Kostenkomponenten ebenfalls unter die bereits internalisierten Kosten.

Unfallopfer – Externe Kosten

Auf Seiten der Unfallopfer kommen die Haftpflichtversicherungen der Unfallverursacher für einen Teil (Getötete: 26 %, Schwerverletzte: 27 %, Leichtverletzte: 100 %) der **Kosten der stationären Behandlung, Kosten der ambulanten Behandlung, Reha-Kosten, Pflegekosten, Krankentransportkosten, Nachbehandlungskosten, Kosten für Hilfsmittel und Förderungskosten** über Regresszahlungen, die sie an die Sozialversicherungen leisten müssen, auf. Die bei den Sozialversicherungen verbleibenden Kostenanteile werden als externe Kosten erachtet.

Die Sozialversicherungen machen ihre administrativen Kosten ebenfalls zu den auf Seite 54 genannten Anteilen gegenüber dem Unfallverursacher bzw. dessen Haftpflichtversicherung geltend. Privatversicherungen decken diese Kosten über die Beiträge der Unfallbeteiligten. **Versicherungskosten** besitzen damit sowohl interne als auch externe Bestandteile.

Das Unfallopfer kann Zahlungen zum Ausgleich von Verdienstaufschlägen von der Haftpflichtversicherung des Unfallverursachers einfordern. Da während der ersten sechs Wochen der Arbeitgeber gesetzlich zur Fortzahlung des Arbeitentgelts verpflichtet ist, geht das Recht für diesen Zeitraum auf den Arbeitgeber des Unfallopfers über. Damit werden allerdings keine **Neubesetzungskosten** für die Anwerbung, Ausbildung und Einarbeitung neuer Arbeitskräfte erstattet. Sie müssen vom Arbeitgeber des Unfallopfers getragen werden und sind damit nicht internalisiert.

Nur ein Teil der **Justizkosten** wird von den Unfallbeteiligten bzw. den Rechtsschutzversicherungen übernommen. Insbesondere die Kosten, die durch die Arbeit der mit den Unfällen befassten Gerichte entstehen, werden z. T. von der Allgemeinheit getragen. Dieser externe Kostenanteil wird auf der Basis der Daten von **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** und **[BAUM ET AL. 2000]** errechnet und beträgt für Personenschäden 11,3 % und für Sachschäden 23,2 %²³ der gesamten Justizkosten.

²³ Die nicht von den Verkehrsteilnehmern oder deren Rechtsschutzversicherungen übernommenen Kosten betragen laut [Baum, Höhnscheid 1999] und [Baum et al. 2000] 1994 62,4 Mio. DM für Personenschäden (Gesamtkosten 551,8 Mio. DM) und 1996 77,18 Mio. DM für Sachschäden (Gesamtkosten 332,07 Mio. DM).

Unfallverursacher – Interne Kosten

Der Unfallverursacher oder dessen Kaskoversicherung kommt für **Reparatur- und sonstige Sachschadenskosten** auf. Sie zählen daher zu den internen Kosten.

Bzgl. der **Polizeikosten** gelten die gleichen Erläuterungen wie für die Gruppe der Unfallopfer. Sie werden daher bei der Berechnung externer Kosten nicht berücksichtigt.

Im Falle eines tödlich verunglückten Unfallverursachers tragen i. d. R. die direkten Familienangehörigen die Kosten für die Bestattung. Nur im Fall alleinstehender Unfallverursacher oder sozialer Härtefälle wird die Allgemeinheit die Kosten übernehmen müssen. Zur Vereinfachung wird davon ausgegangen, dass diese externen Kostenbestandteile so gering sind, dass sie vernachlässigt werden können. Das **Sterbegeld** ist damit internalisiert.

Ressourcenausfallkosten durch Sachschäden sind internalisiert, da, wie bereits bei der Gruppe der Unfallopfer erläutert, davon ausgegangen wird, dass keine Belastungen für die Allgemeinheit aufgrund des zeitlich begrenzt oder dauerhaft nicht zur Verfügung stehenden Sachkapitals auftreten. Diese Kosten werden vom Unfallverursacher oder dessen Kaskoversicherung getragen.

Die Höhe der **humanitären Kosten** errechnet sich über die Schmerzensgeldzahlungen an die Unfallopfer bzw. an deren direkte Familienangehörige. Bei Unfallverursachern entfallen solche Zahlungen, die humanitären Kosten werden von den Unfallverursachern und ihren Angehörigen getragen und sind damit bereits internalisiert.

Außermarktliche Kosten durch Ausfälle in der Schattenwirtschaft fallen beim Unfallverursacher an und werden nicht von der Allgemeinheit getragen. Sie zählen daher zu den internen Kosten.

Unfallverursacher – Externe Kosten

Die Sozialversicherungen kommen für **Kosten der stationären Behandlung, Kosten der ambulanten Behandlung, Reha-Kosten, Pflegekosten, Krankentransportkosten, Nachbehandlungskosten, Kosten für Hilfsmittel und Förderungskosten** auf. Sie erhalten keine Entschädigungen von den Unfallbeteiligten oder deren Versicherungen. Damit werden die Kosten auf die Beitragszahler der Sozialversicherungen übertragen und haben externen Charakter.

Die administrativen Kosten der Privatversicherungen sind über die Beiträge der Unfallbeteiligten internalisiert. Die **Versicherungskosten** der Sozialversicherungen hingegen haben einen externen Charakter, da sie von allen Beitragszahlern der Sozialversicherungen getragen werden.

Für **Neubesetzungskosten und Justizkosten** gelten die Erläuterungen zur Gruppe der Unfallopfer gleichermaßen.

Die Unfallverursacher und/oder deren direkte Familienangehörige müssen zunächst durch ein verringertes Einkommen die **Ressourcenausfallkosten durch Personenschäden** tragen. Geschieht dies ohne Inanspruchnahme staatlicher Leistungen, sind die Ressourcenausfallkosten internalisiert. Wenn allerdings die Einkommensverluste derart gravierend sind, dass die verunfallten Personen und/oder deren direkte Familienangehörige auf staatliche Hilfe in Form von Sozialhilfe angewiesen sind, entstehen externe Kosten in Höhe dieser Zahlungen. Im Sinne einer aus Sicht der Verursacher günstigen Kostenberechnung wird angenommen, dass dieser Fall eintritt, wenn in Haushalten mit nur einer Erwerbsperson der Erwerbstätige ausfällt. Laut **[DESTATIS 2007]** gab es in 2005²⁴ 13.596.000 Personen (16,5 % der Gesamtbevölkerung), die alleinige Erwerbstätige im von ihnen bewohnten Haushalt waren. Außerdem wurden nach Angaben von **[DESTATIS 2008A]** im Jahr 2005 19.949.000.000 € Sozialhilfe an 1.990.000 Empfänger ausgezahlt. Daraus ergeben sich durchschnittliche Leistungen in Höhe von 10.025 € pro Empfänger und Jahr. Laut **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** entstehen in Abhängigkeit vom Schweregrad der Verletzungen die in Tabelle 4-3 dargestellten Ausfalljahre hinsichtlich der Erwerbstätigkeit.

Tabelle 4-3: Ausfalljahre bezogen auf die Erwerbstätigkeit in Abhängigkeit von der Unfallfolge, nach Daten von [Baum, Höhnscheid 1999]

Unfallfolge	Ausfalljahre [a]
Getötete	26,59
Schwerverletzte	0,77
Leichtverletzte	0,04

Die externen Ressourcenausfallkosten ergeben sich für die drei betrachteten Unfallfolgen durch Multiplikation der Ausfalljahre mit den durchschnittlichen staatlichen Leistungen pro Person und Jahr sowie dem Anteil der Gesamtbevölkerung, für den im Falle eines Unfalls staatliche Leistungen gezahlt würden²⁵.

Für **außermarktliche Kosten durch Ausfälle bei der Hausarbeit** gilt ähnliches wie für die Ressourcenausfallkosten. Zunächst müssen Unfallverursacher und deren Haushaltsangehörige die Kosten tragen, d. h. dass andere Personen aus dem Haushalt des Unfallverursachers dessen Pflichten im Haushalt übernehmen. In diesem Fall handelt es sich um interne Kosten. Lebt der Unfallverursa-

²⁴ Für 2004 standen keine Daten zur Verfügung.

²⁵ Unter Berücksichtigung einer Diskontrate in Höhe von 2%.

cher in einem Einpersonenhaushalt und kann eine Haushaltshilfe nicht aus eigener Kraft finanzieren, werden die Kosten von der Allgemeinheit getragen. Am 31.12.2005 lebten laut **[DESTATIS 2008A]** 14.695.000 Personen in Deutschland in Einpersonenhaushalten. 8.786.000 dieser Personen (10,7 % der Gesamtbevölkerung) verfügen über ein monatliches Haushaltsnettoeinkommen von weniger als 1.300 €. Unter der vereinfachenden Annahme, dass diese Personen nicht selbst für die Kosten einer Haushaltshilfe aufkommen können und das Risiko, in einen Unfall verwickelt zu werden, unabhängig vom Haushaltstyp und dem Haushaltsnettoeinkommen ist, sind 10,7 % der in **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** angegebenen Kostensätze für Schwerverletzte und Leichtverletzte als externe Kosten anzusehen. Die externen Kosten im Falle einer getöteten Person betragen 0 €, da in diesem Fall der Haushalt nicht mehr existent ist und somit keine Hausarbeit anfällt.

Fazit

Insgesamt lässt sich festhalten, dass bei Personenschäden Unterschiede hinsichtlich der Zugehörigkeit einzelner Kostenkomponenten zu internen und externen Kosten zwischen den beiden Gruppen Unfallopfer und Unfallverursacher existieren. Bei Sachschäden liegen hingegen keine Unterschiede vor; die Kostensätze für Sachschäden von Unfallverursachern entsprechen denen für Unfallopfer.

4.1.3.3 Berücksichtigung polizeilich bzw. statistisch nicht erfasster Unfälle

Um externe Kosten, die durch nicht polizeilich erfasste Unfälle verursacht werden, abzubilden, werden die Unfallzahlen in den bisher vorliegenden Untersuchungen zur Thematik häufig mit einem Faktor multipliziert. Dieser Faktor ergibt sich durch Abschätzung des Anteils der nicht erfassten Unfälle. Für Deutschland liegen die in Tabelle 4-4 dargestellten Erfassungsraten von verunfallten Personen mit den zugehörigen Korrekturfaktoren vor. Es wird ersichtlich, dass es sich bei den nicht erfassten Unfällen keineswegs um eine vernachlässigbare Anzahl handelt. Da für Unfälle mit Sachschaden keine Angaben zur Erfassungsrate vorliegen, wird vereinfachend geschätzt, dass diese wie für Unfälle mit leichtem Personenschaden bei 64 % liegt.

Tabelle 4-4: Erfassungsraten von Unfällen und Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung nicht erfasster Unfälle, nach [Derriks, Mak 2007]

Unfallfolge	Erfassungsrate [%]	Abgeleiteter Korrekturfaktor
Getötete	95	1,05
Schwerverletzte	68	1,47
Leichtverletzte	64	1,56
Sachschaden	64	1,56

Um eine methodisch fehlerfreie Berechnung der externen Kosten zu gewährleisten, muss das korrigierte Mengengerüst mit Kostensätzen bewertet werden, die unter Berücksichtigung aller tatsächlich auftretenden Unfälle ermittelt wurden. Dies ist allerdings in wenigen Studien der Fall.

Da auch in der vorliegenden Arbeit nicht erfasste Unfälle berücksichtigt werden, muss überprüft werden, ob eine Modifikation der Kostensätze der Kostenkomponenten mit externen Bestandteilen zur Berücksichtigung nicht erfasster Unfälle nötig ist. Eine Modifikation ist dann notwendig, wenn sich bei Berücksichtigung der nicht erfassten Unfälle in der ursprünglichen Berechnung der Kostensätze Änderungen ergäben. Tabelle 4-5 enthält das Ergebnis dieser Überprüfung.

Tabelle 4-5: Notwendigkeit der Modifizierung der Kostenkomponenten mit externen Bestandteilen, eigene Darstellung

Kostenkomponenten	Modifikation notwendig ?
Justizkosten	Ja
Neubesetzungskosten	Ja
Direkte Reproduktionskosten	Nein
Versicherungskosten	Ja
Ressourcenausfallkosten	Nein
Hausarbeit	Nein

Weiterhin ergeben sich Änderungen hinsichtlich der Anteile der von den Kfz-Haftpflichtversicherungen des Unfallverursachers getragenen Kosten an den direkten Reproduktions- und Versicherungskosten des Unfallopfers.

Zusammen mit den im Kapitel 4.1.3.2 angestellten Überlegungen ergeben sich die in Tabelle 4-6, Tabelle 4-7 und Tabelle 4-8 dargestellten Kostensätze für die einzelnen Kostenkomponenten. Dabei werden die Kostensätze jeweils ohne Berücksichtigung nicht erfasster Unfälle zum Preisstand 1994 bzw. 1998 und 2004 angegeben. Die Umrechnung zwischen den Preisständen erfolgt auf Basis der Entwicklung der von [BAUM, HÖHNSCHIED 1999], [BAUM ET AL. 2000] und [BAST 2009] angegeben sozialen Unfallkostensätze. Außerdem enthalten die Tabellen jeweils einen modifizierten Kostensatz (mod. Kostensatz) zum Preisstand 2004. Zur Ermittlung der modifizierten Kostensätze wurden die Berechnungen von [BAUM, HÖHNSCHIED 1999] und [BAUM ET AL. 2000] unter Berücksichtigung nicht erfasster Unfälle nochmals durchgeführt. Die im Vergleich geringeren Kostensätze sind darauf zurückzuführen, dass die jeweiligen Ge-

samtkosten bei Berücksichtigung nicht erfasster Unfälle auf eine größere Anzahl von Unfällen aufgeteilt wurden.

Tabelle 4-6: : Externe Kostensätze für Unfallopfer mit Personenschaden, nach [Baum, Höhnscheid 1999] und eigenen Berechnungen

Getötete			
Kostenkomponente	Kostensatz [DM/Pers.] 1994	Kostensatz [€/Pers.] 2004	Mod. Kosten- satz [€/Pers.] 2004
Direkte Reproduktionsk.	1.563	888	982
Versicherungskosten	1.490	847	650
Justizkosten	305	173	125
Neubesetzungskosten	5.800	3.296	3.070
Summe	9.158	5.204	4.827
Schwerverletzte			
Kostenkomponente	Kostensatz [DM/Pers.] 1994	Kostensatz [€/Pers.] 2004	Mod. Kosten- satz [€/Pers.] 2004
Direkte Reproduktionsk.	9.009	5.120	5.695
Versicherungskosten	1.459	829	641
Justizkosten	305	173	125
Neubesetzungskosten	5.800	3.296	3.070
Summe	16.573	9.418	9.531
Leichtverletzte			
Kostenkomponente	Kostensatz [DM/Pers.] 1994	Kostensatz [€/Pers.] 2004	Mod. Kosten- satz [€/Pers.] 2004
Direkte Reproduktionsk.	0	0	0
Versicherungskosten	0	0	0
Justizkosten	51	29	15
Summe	51	29	15

Tabelle 4-7: Externe Kostensätze für Unfallverursacher mit Personenschaden, nach [Baum, Höhnscheid 1999] und eigenen Berechnungen

Getötete			
Kostenkomponente	Kostensatz [DM/Pers.] 1994	Kostensatz [€/Pers.] 2004	Mod. Kostensatz [€/Pers.] 2004
Direkte Reproduktionsk.	2.100	1.193	1.193
Versicherungskosten	2.000	1.137	790
Justizkosten	305	173	125
Neubesetzungskosten	5.800	3.296	3.070
Ressourcenausfallk.	59.576	33.857	33.857
Hausarbeit	0	0	0
Summe	69.781	39.656	39.035
Schwerverletzte			
Kostenkomponente	Kostensatz [DM/Pers.] 1994	Kostensatz [€/Pers.] 2004	Mod. Kostensatz [€/Pers.] 2004
Direkte Reproduktionsk.	12.350	7.019	7.019
Versicherungskosten	2.000	1.137	790
Justizkosten	305	173	125
Neubesetzungskosten	5.800	3.296	3.070
Ressourcenausfallk.	2.242	1.274	1.274
Hausarbeit	3.186	1.811	1.811
Summe	25.883	14.710	14.089
Leichtverletzte			
Kostenkomponente	Kostensatz [DM/Pers.] 1994	Kostensatz [€/Pers.] 2004	Mod. Kostensatz [€/Pers.] 2004
Direkte Reproduktionsk.	550	313	313
Versicherungskosten	200	114	85
Justizkosten	51	29	15
Ressourcenausfallk.	116	66	66
Hausarbeit	114	65	65
Summe	1.031	587	544

Tabelle 4-8: Externe Kostensätze für Unfallopfer und Unfallverursacher mit Sachschaden nach [Baum et al. 2000] und eigenen Berechnungen

Unfallkategorie 1			
Kostenkomponente	Kostensatz [DM/Pers.] 1998	Kostensatz [€/Pers.] 2004	Mod. Kostensatz [€/Pers.] 2004
Justizkosten	130	74	72
Summe	130	74	72
Unfallkategorie 2			
Kostenkomponente	Kostensatz [DM/Pers.] 1998	Kostensatz [€/Pers.] 2004	Mod. Kostensatz [€/Pers.] 2004
Justizkosten	63	36	24
Summe	63	36	24
Unfallkategorie 3			
Kostenkomponente	Kostensatz [DM/Pers.] 1998	Kostensatz [€/Pers.] 2004	Mod. Kostensatz [€/Pers.] 2004
Justizkosten	46	26	17
Summe	46	26	17
Unfallkategorie 4			
Kostenkomponente	Kostensatz [DM/Pers.] 1998	Kostensatz [€/Pers.] 2004	Mod. Kostensatz [€/Pers.] 2004
Justizkosten	62	35	23
Summe	62	35	23
Unfallkategorie 5			
Kostenkomponente	Kostensatz [DM/Pers.] 1998	Kostensatz [€/Pers.] 2004	Mod. Kostensatz [€/Pers.] 2004
Justizkosten	30	17	11
Summe	30	17	11
Unfallkategorie 6			
Kostenkomponente	Kostensatz [DM/Pers.] 1998	Kostensatz [€/Pers.] 2004	Mod. Kostensatz [€/Pers.] 2004
Justizkosten	20	11	7
Summe	20	11	7

Zur Ermittlung eines für Unfallverursacher und Unfallopfer gemeinsamen Kostensatzes für Personenschäden müssen die Anteile der beiden Gruppen an der Gesamtanzahl der Verunfallten bestimmt werden. Da für das Jahr 1994 keine entsprechenden Daten vorliegen, wird auf Berechnungen von **[BAUM, KLING**

1997] zurückgegriffen. Diese Vorgehensweise erscheint zulässig, da bei **[BAUM, KLING 1997]** Unfalldaten des Jahres 1993 untersucht werden, die, bezogen auf die Gesamtanzahl der getöteten, schwer- und leichtverletzten Personen, geringfügige Abweichungen zu den Daten des Jahres 1994 aufweisen. Es wird angenommen, dass die Unfallstruktur der beiden aufeinander folgenden Jahre vergleichbar ist.

Von den in Deutschland im Jahr 1993 insgesamt 9.949 im Straßenverkehr getöteten Personen waren 7.364 Personen als Verursacher in Unfälle involviert. Dies entspricht einem Anteil von 74,0 %. Bei den Schwerverletzten liegt der Anteil der Unfallverursacher bei 63,4 % (Gesamtanzahl: 125.854, Verursacher: 79.854), während von den insgesamt 379.737 Leichtverletzten 153.526 Personen – und damit 40,4 % - zu der Gruppe der Unfallverursacher zählen.

Entsprechend dieser prozentualen Aufteilung ergeben sich die in Tabelle 4-9 dargestellten mittleren Unfallkostensätze für Personenschäden.

Tabelle 4-9: Externe Unfallkostensätze für Personenschäden, nach [Baum, Höhnscheid 1999] und eigenen Berechnungen

Unfallfolge	Kostensatz 1994 [DM/Pers.]	Kostensatz 2004 [€/Pers.]	Mod. Kostensatz 2004 [€/Pers.]
Getötete	67.227	38.192	30.141
Schwerverletzte	22.484	12.773	12.421
Leichtverletzte	448	254	229

Für die Berechnung externer Unfallkosten sind demnach die modifizierten Kostensätze der Tabelle 4-8 und der Tabelle 4-9 zu verwenden.

Interpretation der Kostensätze

Die hier ermittelten externen Unfallkostensätze liegen deutlich unter den Werten anderer Untersuchungen, obschon auch in anderen Studien wie z. B. bei **[BECKER ET AL. 2002]** die Kostensätze von **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** und **[BAUM ET AL. 2000]** als Basis dienten. Dieser Umstand ist auf zwei Abweichungen von der bisher häufig verfolgten Verfahrensweise zurückzuführen:

Erstens wird in der vorliegenden Arbeit auf die Verwendung von Zahlungsbereitschaftsverfahren bzw. die Bewertung von Schäden ohne Auswirkungen auf die wirtschaftliche Wertschöpfung verzichtet. Zweitens wird zur Unterscheidung zwischen internen und externen Kosten keine personenfeine Abgrenzung vorgenommen, sondern alle Kosten, die innerhalb des Clubs der Verkehrsteilnehmer, deren Haushaltsangehörige bzw. direkte Angehörige und der Wirtschaftssubjekte, die die Verkehrsteilnehmer mit der Fahrt beauftragt haben, verbleiben, als intern erachtet.

Eine Diskussion der hier ermittelten Kostensätze ist immer vor dem Hintergrund dieser Randbedingungen zu führen.

4.1.4 Mengengerüst und Allokationsrechnung

Auf der Grundlage des Straßenverkehrsunfallstatistikgesetzes [STVUNFSTATG 1990] werden in Deutschland Unfälle und ihre Merkmale erfasst. Die Daten werden jährlich von den mit der Erfassung der Unfälle betrauten Polizeidienststellen an die Landesämter für Statistik weitergeleitet. Für Unfälle der Kategorie 1 bis 4 und der Kategorie 6 werden u. a. die folgenden untersuchungsrelevanten Merkmale erfasst:

- Personenbezogene Angaben: Unfallfolgen (Anzahl der getöteten, leicht- und schwerverletzten Personen)
- Unfallbezogene Angaben: Unfallstelle (hier: Autobahn und Betriebskilometer), Datum, Unfallkategorie
- Fahrzeugbezogene Angaben: Art der Verkehrsbeteiligung (Fahrzeugart)

Die Angaben zur Unfallfolge und Unfallkategorie eignen sich zusammen mit den im Kapitel 4.1.3 dargestellten Kostensätzen, um die externen Kosten der Unfälle der Kategorien 1 bis 4 und der Kategorie 6 zu berechnen. Die abschnitts- und fahrzeugklassenbezogene Allokation der externen Unfallkosten für diese Unfälle ist über das Mengengerüst der Unfalldaten (Unfallstelle und Fahrzeugart) möglich. Die fahrleistungsbezogene Allokation erfolgt über transformierte Daten zur streckenbezogenen Fahrleistung von [KATHMANN ET AL. 2007].

Da Unfälle seltene Ereignisse sind, werden in der Unfallforschung mindestens Unfalldaten von 36 aufeinander folgenden Monaten herangezogen, um statistisch sichere Aussagen treffen zu können. Dieser Forderung muss auch bei Anwendung der hier entwickelten Berechnungsmethodik nachgekommen werden. Da die zuständigen Landesämter Unfalldaten über längere Zeiträume festhalten, kann diese Forderung erfüllt werden. Da in der vorliegenden Arbeit Mengengerüste des Jahres 2005 bewertet werden sollen, werden Unfalldaten der Jahre 2004 bis 2006 betrachtet.

Um nicht erfasste Unfälle auch auf Seiten des Mengengerüsts in die Berechnungen einzubeziehen, werden die Anzahl der getöteten, schwer- und leichtverletzten Personen bzw. die Anzahl der Unfälle pro Unfallkategorie mit den Korrekturfaktoren der Tabelle 4-4 multipliziert.

Unfälle der Kategorie 5 werden von den zuständigen Polizeidienststellen auf Autobahnen i. d. R. lediglich zahlenmäßig erfasst, da nach dem [STVUNFSTATG 1990] für diese Unfälle keine detaillierten Daten festgehalten

werden müssen. Damit lassen sich für Unfälle dieser Kategorien nur die jährlichen externen Kosten errechnen, die sich landesweit auf Autobahnen ergeben. Eine räumliche oder fahrzeugklassenbezogene Zuordnung der Kosten ist nicht möglich. Lediglich eine fahrleistungsbezogene Allokation der Kosten kann durchgeführt werden. Daher wird auf die Berücksichtigung der externen Kosten, die durch Unfälle der Kategorie 5 entstehen, zunächst verzichtet. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird diese Problematik erneut behandelt.

4.2 Lärmkosten

4.2.1 Einführung

Geräusche, die als zu laut und unnötig empfunden werden, wirken in unterschiedlicher Weise störend, belästigend oder schädigend auf Menschen und werden als Lärm bezeichnet. Ob Geräusche des Straßenverkehrs von Menschen als zu laut und unnötig wahrgenommen werden, hängt von einer Vielzahl unterschiedlicher Einflussgrößen wie dem Schalldruckpegel, der Tonfrequenz, der Tonhaltigkeit, der Impulshaltigkeit, der Tätigkeit des Betroffenen und der persönlichen und sozialen Bewertung des Schallereignisses ab. Damit wird deutlich, dass Lärm keine messbare physikalische Größe ist. Nur die physikalischen Bestandteile, also die objektiven Einflussgrößen, können exakt bestimmt werden. Um dennoch Lärm quantitativ zu erfassen, wird der so genannte Beurteilungspegel L_r als Maß der Lärmimmission berechnet. Da der Beurteilungspegel den Grad der Belastung der betroffenen Personen widerspiegeln soll, fließen neben objektiven Einflussgrößen von Lärm über mittlere, frequenzbewertete Schalldruckpegel L_m (auch als energieäquivalente Dauerschallpegel L_{eq} bezeichnet) auch Zuschläge für die Ton- und Impulshaltigkeit der Schallereignisse in dessen Berechnung ein. Frequenzbewertete Schalldruckpegel berücksichtigen den Umstand, dass das menschliche Gehör eine geringere Empfindlichkeit gegenüber tiefen Frequenzen aufweist. In Deutschland wird der A-bewertete Schalldruckpegel verwendet. Es handelt sich hierbei um einen für einen definierten Zeitraum (z. B. $L_{m,T}$ für tagsüber zwischen 6:00 – 22:00 Uhr; $L_{m,N}$ für nachts zwischen 22:00 – 6:00 Uhr) gemittelten Schalldruckpegel. Durch die Bildung von mittleren Schalldruckpegeln stellt sich die Bewertung von selten und nur kurz auftretenden Spitzenpegeln als schwierig dar. Ein solcher Spitzenpegel kann bspw. zum Erwachen schlafender Personen führen. Diese Wirkung wird aber bei der Berechnung von gemittelten Schalldruckpegeln nur unzureichend erfasst. Diese Schallereignisse werden daher über erwähnte Zuschläge bei der Ermittlung des Beurteilungspegels berücksichtigt, mit denen kurzzeitig auftretende Spitzenpegel teilweise abgebildet werden können.

Im Zuge der Einführung der EU-Richtlinie **[KOM 2002]** über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm wurde in Deutschland der so genannte Tag-Abend-Nacht-Pegel L_{DEN} zur Beurteilung der Lärmimmission des Straßenverkehrs gebräuchlich. L_{DEN} wird dabei aus mittleren A-bewerteten Schalldruckpegeln für den Tag L_{Day} , den Abend $L_{Evening}$ und die Nacht L_{Night} errechnet. L_{DEN} ist also ebenfalls ein Beurteilungspegel, in den allerdings keine Zuschläge für die Ton- und Impulshaltigkeit von Schallereignissen einfließen. Zur Berücksichtigung einer höheren Empfindlichkeit gegen Lärm während der Abend- und Nachtstunden werden die mittleren Schalldruckpegel für diese Zeiträume durch Zuschläge um 5 dB(A) bzw. 10 dB(A) erhöht.

4.2.2 Betrachtete Wirkungen

In dieser Arbeit werden ausschließlich schädigende Lärmwirkungen auf den Menschen betrachtet, da nur für diesen Bereich fundierte Verfahren hinsichtlich der Quantifizierung und Bewertung vorliegen. Es ist aber festzuhalten, dass Lärm ebenfalls negative Wirkungen insbesondere auf die Tierwelt hat (Störung der Orientierung etc.), die aufgrund etwaiger Einflüsse auf die Wertschöpfung zum Bereich der externen Effekte zu zählen sind.

Bei den Auswirkungen von Lärm auf Menschen ist nach **[GRIEFAHN 2003]** zwischen auralen und extra-auralen Lärmwirkungen zu unterscheiden. Aurale Wirkungen von Lärm bestehen aus einer Schädigung des Innenohrs infolge zu hoher Lärmbelastungen. Diese stellen sich i. d. R. aber nicht im Zusammenhang mit Straßenverkehrslärm ein. Daher werden im Weiteren nur die extra-auralen Lärmwirkungen Schädigung der vegetativen Reaktionen (Gesundheitsschäden), Störung der Nachtruhe, Störung der Kommunikation und allgemeine Belästigung betrachtet. Die drei letztgenannten Wirkungen werden häufig auch als "belästigende" Lärmwirkungen zusammengefasst.

4.2.3 Bewertungsverfahren/Wertegerüst

4.2.3.1 Vorstellung verschiedener Verfahren

Im Folgenden wird ein kurzer Abriss über die Entwicklung der Lärmkostenberechnung der vergangenen Jahre gegeben. Detaillierte Übersichten über Studien zur Ermittlung von Lärmkosten sind von **[HAWKINS 1999]**, **[BATEMAN ET AL. 2001]**, **[NAVRUD 2002]** und **[MAIBACH ET AL. 2007]** zusammengetragen worden.

Vor allem in den 1980er Jahren waren der Vermeidungskostenansatz und die Marktdatendivergenzanalyse die vorherrschenden Verfahren zur Ermittlung des

Wertegerüsts für Lärmkosten (z. B. bei **[GRUPP 1986]** und **[POMMEREHNE 1986]**).

Während der Vermeidungskostenansatz in neueren Untersuchungen an Bedeutung verloren hat, wird die Marktdatendivergenzanalyse in neueren Veröffentlichungen (z. B. bei **[SCHMID 2005]**) häufig in Kombination mit anderen Verfahren verwendet, da dieser Ansatz nur die Ermittlung eines Teils der auftretenden Lärmkosten erlaubt. **[SCHMID 2005: S. 81]** beruft sich auf eine allgemein anerkannte These, wenn er vermutet, dass betroffene Personen bei der Entscheidung ihres Wohnstandortes durch Lärm bedingte zusätzliche Gesundheitskosten nicht gegen niedrigere Mietpreise abwägen. Demnach kann die Marktdatendivergenzanalyse nur zur monetären Bewertung "belästigender" Lärmwirkungen herangezogen werden und muss um ein zusätzliches Verfahren zur Bewertung von Gesundheitsschäden ergänzt werden. Dieser Ansatz ist erstmals von **[SCHULZ, WICKE 1987]** verfolgt und in den Folgejahren auch in anderen Studien eingesetzt bzw. weiter ausgebaut worden. Die Marktdatendivergenzanalyse ist dabei in den letzten Jahren z. T. durch Zahlungsbereitschaftsverfahren abgelöst worden. **[BATEMAN ET AL. 2001]** gibt an, dass bei 28 Marktdatendivergenzanalysen, die zwischen 1962 und 1990 durchgeführt wurden, NSDI zwischen 0,08 % und 2,2 % ermittelt wurden. Bei den von **[HAWKINS 1999]** betrachteten Untersuchungen im Zeitraum zwischen 1974 und 1997 liegt der Wertebereich der NSDI zwischen 0,21 % und 1,7 %. Aktuellere Studien wie z. B. **[RICH, NIELSEN 2002]** und **[SOMMER ET AL. 2004B]** geben NSDI an, die innerhalb dieser Schwankungsbereiche liegen. Damit ergibt sich zwischen Minimal- und Maximalwerten des NSDI ein Faktor von ca. 28. Diese Abweichungen sind u. a. durch Unterschiede der betrachteten Studien hinsichtlich der Modellierung der Lärmimmission, der Anzahl und Art der in die Regressionsanalyse eingehenden erklärenden Variablen, der Wahl des Funktionstyps bei der Regressionsanalyse und den Bedingungen des jeweiligen Immobilienmarktes zu erklären. **[NAVRUD 2002]** gibt eine Übersicht über elf Studien, die auf Basis des Zahlungsbereitschaftsverfahrens zwischen 1988 und 2001 durchgeführt wurden. Die Spannweite der Kostensätze dieser Studien reicht von zwei bis 99 € pro Dezibel, Haushalt und Jahr zum Preisstand 2001. Damit ergibt sich zwischen Minimal- und Maximalwert ein Faktor von ca. 50. Diese Unterschiede sind darauf zurückzuführen, dass die Studien hinsichtlich der Modellierung der Lärmimmission, der Befragungstechnik und der kulturellen Hintergründe der befragten Personen voneinander abweichen. Es wird deutlich, dass weder aus dem Vergleich von Studien, die auf der Marktdatendivergenzanalyse basieren, noch aus der Gegenüberstellung von Untersuchungen, in denen Kostensätze unter Anwendung des Zahlungsbereitschaftsverfahrens ermittelt werden, allgemeingültige Kostensätze zur Bewertung der "belästigenden" Lärmwirkungen abgeleitet werden

können. Für beide Bewertungsverfahren ergeben sich bezogen auf den Wertebereich des Kostensatzes enorme Spannweiten. Insgesamt muss daher Befürworten des Zahlungsbereitschaftsverfahrens widersprochen werden, welche die Heterogenität der unter Anwendung der Marktdatendivergenzanalyse ermittelten Kostensätze zur Begründung der Wahl von Kostensätzen, die auf der Basis von Zahlungsbereitschaftsverfahren bestimmt wurden, angeben. Diese Heterogenität gilt mindestens im gleichen Maße für Kostensätze nach dem Zahlungsbereitschaftsverfahren. Um die "belästigenden" Lärmwirkungen exakter und differenzierter zu bewerten, wurden von **[METROECONOMICA 2001]** Kostensätze für jede einzelne Wirkung der "belästigenden" Lärmwirkungen auf der Basis von Zahlungsbereitschaftsverfahren ermittelt. Aus Sicht des Verfassers der vorliegenden Arbeit ist jedoch nicht abschließend geklärt, ob eine Doppelbewertung bei dieser Vorgehensweise ausgeschlossen werden kann. Weiterhin setzen z. B. **[SCHMID 2005]** und **[BECKER ET AL. 2002]** den bereits im Kostenbereich "Unfallkosten" diskutierten, auf Zahlungsbereitschaftsverfahren basierenden VOSL-Ansatz zur Bewertung der Schmerzen und des Leids von Menschen im Zusammenhang mit lärmbedingten Gesundheitsschäden ein.

Hinsichtlich der Bewertung von Gesundheitswirkungen von Lärm hat sich die Kenntnislage in den vergangenen 20 Jahren durch eine Vielzahl epidemiologischer Studien zur Thematik deutlich verbessert. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, diese erstmals von **[SCHULZ, WICKE 1987]** bewerteten Wirkungen differenzierter zu betrachten. Die Epidemiologie befasst sich u. a. mit den Ursachen menschlicher Krankheiten. Dabei werden sowohl qualitative als auch quantitative Zusammenhänge zwischen Ursache (z. B. Lärmimmission) und Wirkung (erhöhte Morbidität und Mortalität infolge von z. B. Herz-Kreislaufkrankungen) dargestellt. Die Epidemiologie vergleicht als beobachtende Wissenschaft Personengruppen mit unterschiedlichen Belastungsprofilen. Da Krankheiten häufig auf unterschiedliche Ursachen zurückzuführen sind, setzen sich die Belastungsprofile aus den Ausprägungen der verschiedenen Einflussfaktoren zusammen. Die Epidemiologie versucht unter zur Hilfenahme statistischer Analysen den konkreten Einfluss der einzelnen Ursachen quantitativ über mathematische Beziehungen abzubilden. Das so genannte Relative Risiko RR stellt eine dieser mathematischen Beziehungen dar. Bei epidemiologischen Studien zu Lärmwirkungen geht i. d. R. der Schalldruckpegel als unabhängige Größe in die mathematische Funktion zur Ermittlung des Relativen Risikos ein. Das Relative Risiko gibt an, wie stark die Exposition das Risiko der Erkrankung – zumeist bezogen auf ein Jahr – erhöht, und wird daher als Verhältniswert zwischen dem Risiko einer exponierten Person zu einem Nicht-Exponierten gebildet. Mit dem Relativen Risiko und der Inzidenz der Krankheiten sowie weiterer Informationen bspw. über die durchschnittliche Dauer der mit der Krankheit verbundenen Kranken-

hausaufenthalte lassen sich Erwartungswerte der Wirkungen pro lärmbelasteter Person errechnen. Die Funktionen zur Ermittlung dieser Erwartungswerte werden i. d. R. als Dosis-Wirkungsbeziehungen bezeichnet. Neben den Ergebnissen epidemiologischer Studien werden auch Untersuchungen über die Belästigungswirkung von Lärm zur Erstellung von Dosis-Wirkungsbeziehungen herangezogen. Insgesamt lässt sich also ein Großteil der extra-auralen Lärmwirkungen über Dosis-Wirkungsbeziehungen abbilden. Dieser Umstand wird im Wirkungspfadansatz genutzt. Der Wirkungspfadansatz geht auf das Forschungsprojekt ExternE (External costs of Energy) zurück und erlaubt die Trennung der quantitativen Ermittlung der Lärmwirkung von der monetären Bewertung. Der Ansatz sieht zunächst die Modellierung der gesamten Wirkungskette von der den Lärm erzeugenden Aktivität bis hin zur daraus resultierenden Schädigung vor, um die einzelnen Schäden (so genannte Endpunkte) anschließend mit speziell für die jeweiligen Endpunkte ermittelten Kostensätzen zu bewerten (s. Abbildung 4-1).

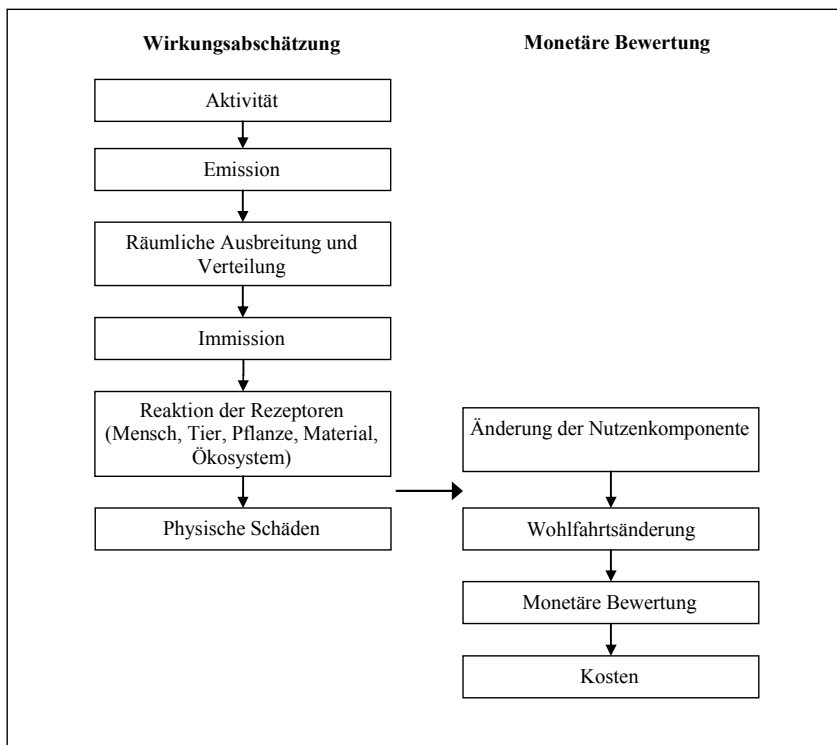


Abbildung 4-1: Prinzip des Wirkungspfadansatzes, in Anlehnung an [Bickel 2005]

Es ist festzuhalten, dass die Berechnung von Lärmkosten durch Anwendung des Wirkungspfadansatzes insgesamt transparenter und nachvollziehbarer wird. Der Wirkungspfadansatz erlaubt die Ermittlung von Grenzkosten. Dazu wird die Wirkungsdifferenz zwischen einem Referenzfall und einem Vergleichsfall quantifiziert. Der Vergleichsfall zeichnet sich durch eine um ein Fahrzeug höhere Verkehrsstärke aus als der Referenzfall. Die monetarisierte Wirkungsdifferenz dieser beiden Belastungssituationen stellt die Grenzkosten des Fahrzeugs dar, das im Vergleichsfall zusätzlich den Verkehrsweg nutzt.

Die bisher dargestellten Studien bewerten mit Ausnahme von **[BECKER ET AL. 2002]** lediglich Schadenswirkungen infolge von Lärm, die Betroffene während der Aktivität "Wohnen" erleiden. Eine Ermittlung der Kosten, die durch straßenverkehrsbedingte Lärmbelastungen am Arbeitsplatz, in der Freizeit oder bei anderen Aktivitäten anfallen, erfolgt nicht. Nur **[BECKER ET AL. 2002]** nutzen den Bewertungsansatz von **[ROTHENGATTER ET AL. 1999]**, bei dem Schäden, die durch Lärmbelastung außerhalb der Wohnung entstehen, monetarisiert werden. Dazu wird das Untersuchungsgebiet räumlich unterteilt. Für jede Raumeinheit werden Betroffenheitswerte und Zielpiegel je nach Raumnutzung ermittelt und mit fahrleistungsbezogenen Kostensätzen von **[MAUCH ET AL. 1995]** multipliziert. Dieses Verfahren bietet zwar gute Ansätze, allerdings sollte differenzierter vorgegangen werden. Generell müssten für die Aktivitäten, bei denen gesundheitsschädigende oder belastigende Wirkungen durch Straßenverkehrslärm zu vermuten sind und die nicht bereits aufgrund ihrer wohnstandortnahen Durchführung bei der Ermittlung der externen Lärmkosten im Zusammenhang mit der Aktivität "Wohnen" erfasst werden könnten²⁶, separate Dosis-Wirkungsbeziehungen aufgestellt bzw. Verfahren zur Ermittlung der externen Kosten entwickelt werden. In diesem Zusammenhang sind die Aktivitäten "aushäusiges Arbeiten" und "aushäusige Erholung" zu nennen, da sie i. d. R. von längerer Dauer sind und stark durch Lärm beeinträchtigt werden. Für die Aktivität "aushäusige Erholung" müsste untersucht werden, ob und inwiefern Auswirkungen des Lärms bereits durch den Kostenbereich "Kosten für Natur und Landschaft" erfasst werden.

4.2.3.2 Gewählte Bewertungsmethodik

Insgesamt steht eine Reihe von Möglichkeiten zur Ermittlung von Lärmkosten zur Verfügung. In dieser Arbeit wird der Wirkungspfadansatz aufgrund seiner beschriebenen Vorteile zur Bewertung der **lärmbedingten Gesundheitskosten**

²⁶ Dies ist insbesondere durch die Verwendung eines Kostensatzes auf Basis der Marktdatendivergenzanalyse zu befürchten, da zu vermuten ist, dass der Mietpreis einer Wohnung auch durch die Verlärmung des Wohnumfeldes beeinflusst wird.

verfolgt. Die Bewertung der ermittelten Wirkungen erfolgt ausschließlich mittels Kostensätzen, die über den Schadenskostenansatz bestimmt wurden. Obwohl der Wirkungspfadansatz eigentlich zur Ermittlung von Grenzkosten entwickelt wurde, lassen sich mit ihm auch Gesamtkosten bzw. Durchschnittskosten ermitteln. Dazu muss im Referenzfall eine Verkehrsstärke von null Fahrzeugen betrachtet werden, während dem Vergleichsfall die Verkehrsstärke der zu bewertenden Situation zugrunde liegt. Um **"belästigende" Wirkungen** des Straßenverkehrslärms ebenfalls zu bewerten, wird in dieser Arbeit ein Kostensatz, der auf der Marktdatendivergenzanalyse basiert, verwendet. Der Wirkungspfadansatz kommt für "belästigende" Lärmwirkungen nicht zum Einsatz, da sämtliche dazu vorliegende Kostensätze auf Zahlungsbereitschaftsverfahren basieren, die in der vorliegenden Arbeit nicht verwendet werden.

Im Sinne einer aus Verursachersicht günstigen Kostenberechnung wird der überwiegend zur Anwendung gebrachten Verfahrensweise gefolgt und auf die Ermittlung von Lärmkosten verzichtet, die nicht im Zusammenhang mit der Aktivität "Wohnen" entstehen. Durch diese Entscheidung werden die externen Lärmkosten in der vorliegenden Arbeit systematisch unterschätzt.

Bewertung von Gesundheitsschäden infolge ischämischer Herzkrankheiten

Der Begriff ischämische Herzkrankheiten umschreibt die zeitweise Verminderung oder Unterbrechung der Durchblutung des Herzmuskels infolge einer Verengung der koronaren Arterien und beinhaltet neben Angina pectoris und Herzinfarkt auch weit harmlosere Symptome. Die mit ischämischen Herzkrankheiten verbundenen Kosten liegen daher deutlich unter den Kosten eines Herzinfarktes.

[KLUIZENAAR ET AL. 2001] gibt das folgende Relative Risiko für ischämische Herzkrankheiten infolge von Straßenverkehrslärm an:

$$RR = 0,5 + 0,008 \cdot L_{DEN} \text{ für } L_{DEN} > 70 \text{ dB(A)} \quad 4$$

mit: L_{DEN} : Beurteilungspegel an der äußeren Hausfassade

Bei einer Lärmimmission unterhalb von $L_{DEN} = 70 \text{ dB (A)}$ außerhalb des betrachteten Gebäudes ist kein erhöhtes Risiko für das Auftreten der ischämischen Herzkrankheit nachzuweisen. Dieser Schwellwert wurde in einer Vielzahl von Untersuchungen, die von **[DEN BOER, SCHROTEN 2007]** zusammengefasst wurden, im Wesentlichen bestätigt. Das in neueren Untersuchungen von **[BA-BISCH 2006]** und **[SCHMID 2005]** ermittelte Relative Risiko für Herzinfarkte bzw. Herzinfarkte und Angina pectoris wurde nicht verwendet, da

- nur ein bzw. zwei Symptome der ischämischen Herzkrankheit betrachtet wurden und somit ein Teil der externen Effekte unberücksichtigt bliebe und

- die von **[BABISCH 2006]** ermittelte Funktion nur für einen Teil der Bevölkerung Gültigkeit besitzt.

In dieser Arbeit wird daher auf der Basis des Relativen Risikos von **[KLUIZE-NAAR ET AL. 2001]** und der von **[GBE 2009]** angegebenen Inzidenz in Höhe von 0,87 % pro Jahr für ischämische Herzkrankheiten folgende Dosis-Wirkungsbeziehung für den Endpunkt "Anzahl der lärmbedingten ischämischen Herzkrankheiten" aufgestellt:

$$E(X) = 0,0696 \cdot L_{DEN} - 4,35 \text{ für } L_{DEN} > 70 \text{ dB(A)} \quad 5$$

mit: $E(X)$: Erwartungswert für die Anzahl der lärmbedingten ischämischen Herzkrankheiten pro 1.000 von einem Schalldruckpegel $L_{DEN} > 70\text{dB(A)}$ betroffene Personen und Jahr

Zur monetären Bewertung der Anzahl der lärmbedingten ischämischen Herzkrankheiten wird im Folgenden ein neuer Kostensatz entwickelt, da keine methodisch und inhaltlich geeigneten Werte dazu vorliegen. Zu diesem Zweck wird z. T. auf die Berechnung der Krankheitskosten des Statistischen Bundesamtes **[DESTATIS 2008B]** zurückgegriffen. Diese Krankheitskostenberechnung folgt dem Schadenskostenansatz und gibt u. a. für unterschiedliche, nach dem ICD-System unterteilte Krankheiten die gesamten Kosten des deutschen Gesundheitswesens für das Jahr 2004 an. Die Kostenberechnung stützt sich dabei auf Daten unterschiedlicher Institutionen des Gesundheitsbereichs. Als Krankheitskosten sind sämtliche Gesundheitsausgaben, die im Zusammenhang mit Heilbehandlungen, Präventions-, Rehabilitations- und Pflegemaßnahmen entstehen, definiert. Die Krankheitskostenrechnung berücksichtigt damit in Anlehnung an die Einteilung von **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** die Komponenten Kosten der stationären Behandlung, Kosten der ambulanten Behandlung, Reha-Kosten, Pflegekosten, Krankentransportkosten, Nachbehandlungskosten, Kosten für Hilfsmittel, Förderungskosten und Verwaltungskosten der Sozialversicherungen. Die Krankheitskostenrechnung ist aufgrund der verwendeten Daten bezogen auf diese Kostenkomponenten als umfassend zu bezeichnen.

Die Krankheitskosten für ischämische Herzkrankheiten werden für das Jahr 2004 zu 6.133.000.000 € angegeben. Bei einer von **[KVBB 2005]** mit ca. 5 % angegebenen Prävalenz (ca. 4.125.000 Erkrankte) und einer durchschnittlichen

Krankheitsdauer von 17,2 Jahren²⁷ ergibt sich damit ein Kostensatz in Höhe von 21.459 € pro Krankheitsfall²⁸.

Um sämtliche Schäden mit Auswirkungen auf die Wertschöpfung zu erfassen, müssen in Anlehnung an **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** außerdem noch Neubesetzungskosten des Arbeitgebers, Bestattungskosten, Ressourcenausfallkosten, humanitäre Kosten und außermärkliche Kosten, die im Zusammenhang mit der ischämischen Herzkrankheit entstehen, ermittelt werden. Zur Berechnung der Ressourcenausfallkosten wird z. T. ebenfalls auf **[DESTATIS 2008B]** zurückgegriffen. Hier werden, ebenfalls gegliedert nach dem ICD-System, krankheitsbedingt verlorene Erwerbstätigkeitsjahre angegeben.

Für ischämische Herzkrankheiten des Jahres 2004 belaufen sich diese auf insgesamt 133.000 Jahre.²⁹ Bezogen auf die Krankheitsfälle ergeben sich damit 0,03 Ausfalljahre pro Krankheitsfall. Diese geringe Anzahl von Ausfalljahren lässt sich u. a. dadurch erklären, dass die Wahrscheinlichkeit, an der ischämischen Herzkrankheit zu erkranken, mit zunehmendem Alter steigt und sich daher unter den Erkrankten eine Vielzahl von Personen befindet, die das Erwerbstätigenalter bereits überschritten und damit keinen Einfluss mehr auf die Höhe der verlorenen Erwerbstätigkeitsjahre haben. Nach **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** sind Ressourcenausfallkosten über die Ausfallzeit und das damit verbundene verminderte Produktionspotenzial zu ermitteln. Demnach ergeben sich Ressourcenausfallkosten pro Ausfalljahr in der Höhe von 56.360 DM für das Jahr 1994. Bei einem vom **[SACHVRAT 2005: S. 68]** angegebenen durchschnittlichen jährlichen Wachstum des Produktionspotenzials von ca. 1,5 % zwischen 1994 und 2004, ergeben sich für das Jahr 2004 Ressourcenausfallkosten pro Jahr in Höhe von 33.442 €. Damit belaufen sich die Ressourcenausfallkosten pro Fall von ischämischer Herzkrankheit auf 1.078 €.

Die humanitären Kosten werden auf der Grundlage der entsprechenden Kostensätze von **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** für Schwerverletzte und Getötete infolge von Straßenverkehrsunfällen berechnet, die auf Schmerzensgeldzahlungen an die Unfallopfer bzw. deren Hinterbliebenen basieren³⁰. Für infolge von Lärm

²⁷ Ischämische Herzkrankheiten zeichnen sich i. d. R. durch ihren chronischen Charakter aus. Es wird daher abstrahierend angenommen, dass eine lebenslange Behandlung notwendig wird. Die durchschnittliche Krankheitsdauer ergibt sich aus Angaben zur Alterverteilung von Patienten mit ischämischer Herzkrankheit und der altersbezogenen Restlebenserwartung (s. Anhang B).

²⁸ Bei einer Diskontrate in Höhe von 2%.

²⁹ Dabei werden keine zukünftig verlorenen Erwerbstätigkeitsjahre bedingt durch Krankheitsfälle der Altersgruppe "0 bis 14 Jahre" berücksichtigt. Da in dieser Altersgruppe in 2004 allerdings keine Todesfälle zu beklagen waren, beträgt die Gesamtsumme auch bei Berücksichtigung der Altersgruppe "0 bis 14 Jahre" weiterhin 133.000 Jahre.

³⁰ s. Kapitel 4.1.3.2

erkrankte oder verstorbene Personen werden keine Schmerzensgeldzahlungen geleistet. Dieser Umstand ist allerdings darauf zurückzuführen, dass eine personenbezogene Ermittlung der Verursachung nicht möglich ist. Generell handelt es sich bei Getöteten oder Verletzten infolge von Straßenverkehrsunfällen und straßenlärmbedingt Verstorbenen bzw. Erkrankten um vergleichbare Schäden. Daher erscheint es legitim, die Kostensätze von bei Unfällen Getöteten zur Bewertung lärmbedingt Verstorbener heranzuziehen (6.700 DM zum Preisstand 1994, 3.937 € zum Preisstand 2004). Zur Kategorie der Schwerverletzten zählt aufgrund der gewählten Definition ein weites Feld von Verletzungsgraden. Es erscheint dem Verfasser zulässig, diese Kostensätze (49.850 DM zum Preisstand 1994, 29.290 € zum Preisstand 2004) auf infolge von Lärm an der ischämischen Herzkrankheit erkrankten Personen zu übertragen, da diese Krankheit ebenfalls eine Vielzahl von Schweregraden aufweist. Die wenigen in **[HACKS ET AL. 2007: FALLNUMMER 1590, 2159 UND 2548]** genannten Gerichtsentscheidungen hinsichtlich der Höhe von Schmerzensgeldbeträgen im Falle von Herzinfarkten als ein Symptom ischämischer Herzkrankheiten deuten darauf hin, dass diese Annahme zutreffend ist. Im Jahr 2004 verliefen laut **[GBE 2009]** 3,7 % (152.659 Fälle) der ischämischen Krankheiten tödlich, während 96,3 % der erkrankten Personen überlebten. Damit ergibt sich, bezogen auf einen Krankheitsfall, ein Kostensatz in Höhe von 48.253 DM zum Preisstand 1994 und 28.253 € zum Preisstand 2004.

Die außermärklichen Kosten werden auf der Basis der von **[BAUM, HÖHN-SCHIED 1999]** über das außermärkliche, schattenwirtschaftliche Produktionspotenzial ermittelten Kosten sowie über die durch entgangene Wertschöpfung durch Hausarbeit entstehenden Kosten bestimmt. In die Berechnung fließen außerdem die krankheitsbedingt verlorenen Erwerbstätigkeitsjahre (Schattenwirtschaft) und die krankheitsbedingten Ausfalljahre bei der Hausarbeit ein. Die außermärklichen schattenwirtschaftlichen Kosten pro Ausfalljahr betragen 6506 DM für das Jahr 1994. Umgerechnet auf den Preisstand des Jahres 2004 ergibt sich unter Berücksichtigung des durchschnittlichen jährlichen Wachstums des Produktionspotenzials ein Betrag in Höhe von 3.860 € pro Ausfalljahr. Multipliziert mit der Anzahl der krankheitsbedingt verlorenen Erwerbstätigkeitsjahre pro Krankheitsfall (0,03 Jahre pro Krankheitsfall) errechnet sich der Kostensatz für außermärkliche, schattenwirtschaftliche Kosten zu 116 € pro Krankheitsfall.

Krankheitsbedingte Ausfallzeiten bei der Hausarbeit ergeben sich, wie im Bereich der Ressourcenausfallkosten, durch Arbeitsunfähigkeit, Invalidität und Mortalität. Im Gegensatz zur Vorgehensweise bei der Ermittlung der Ressourcenausfallkosten müssen aber auch Ausfallzeiten von Personen außerhalb der Altersgruppe "15 – 64 Jahre" berücksichtigt werden. Außerdem erstreckt sich die Ausfallzeit bei getöteten und invaliden Personen vom Zeitpunkt des Todes bzw.

Eintritts der Invalidität bis zum Ende der potenziellen durchschnittlichen Lebenserwartung.

Die 4.125.000 Krankheitsfälle bzw. 152.659 Todesfälle des Jahres 2004 teilen sich wie im Anhang B dargestellt auf die Altersgruppen auf.

Zur Ermittlung der Ausfallzeiten durch Arbeitsunfähigkeit wird der entsprechende Wert aus **[DESTATIS 2008B]** für die Altersgruppe "15 – 64 Jahre" übernommen (25.000 Jahre). Bezogen auf den einzelnen Krankheitsfall ergeben sich somit 0,016 Ausfalljahre. Es wird angenommen, dass dieser Wert auf die Altersgruppe "65 Jahre und älter" übertragbar ist³¹. Da der Verfasser vereinfachend erst ab einem Alter von 15 Jahren von einem substantziellen Beitrag zur Hausarbeit ausgeht, ergeben sich für die Altersgruppe "0 – 14 Jahre" keine Ausfallzeiten durch Arbeitsunfähigkeit.

Um die Ausfallzeiten durch Invalidität zu bestimmen, wird die Verteilung aller Krankheitsfälle innerhalb der Altersgruppe "15 – 64 Jahre" näher betrachtet. Das durchschnittliche Erkrankungsalter innerhalb dieser Altersgruppe liegt bei 55,3 Jahren. Unter der Annahme, dass die mit Invalidität verbundenen Krankheitsfälle der gleichen Altersverteilung folgen, resultieren 9,7 verlorene Erwerbstätigkeitsjahre pro invalider Person³². Bei 25.000 von **[DESTATIS 2008B]** angegebenen verlorenen Erwerbstätigkeitsjahren durch Invalidität innerhalb der gesamten Altersgruppe ergeben sich 2577 Invaliditätsfälle. Damit führen also 0,17 % der gesamten Krankheitsfälle dieser Altersgruppe zur Invalidität. Es wird angenommen, dass dieser Prozentsatz auf die Altersgruppen "0 – 14 Jahre" sowie "65 Jahre und älter" übertragbar ist. Die Anzahl der Invaliden und die damit verbundenen Ausfallzeiten sind gemeinsam für alle drei Altersgruppen im Anhang B dargestellt. Dabei wird die Ausfallzeit mit der Restlebenserwartung nach **[GBE 2009]** gleichgesetzt und berücksichtigt, dass Personen, die vor ihrem 15. Lebensjahr invalide werden, erst mit Erreichen dieses Alters zur Hausarbeit hätten beitragen können.

Die Berechnung der Ausfallzeiten durch Mortalität³³ wird auf Basis der Altersverteilung der Todesfälle und der Restlebenserwartung durchgeführt. Für die Altersgruppe "0 – 14 Jahre" gelten die gleichen Annahmen wie bei der Berechnung der Ausfallzeiten durch Invalidität.

³¹ Ausfalljahre aus Arbeitsunfähigkeit in der Altersgruppe 65 und älter
= 2.569.379 Krankheitsfälle * 0,016 Ausfalljahre/Krankheitsfall = 41.110 Ausfalljahre

³² Bei einem angenommenen Renteneintrittsalter von 65 Jahren.

³³ s. Anhang B

Insgesamt ergeben sich damit 2.169.819 Ausfalljahre bei der Hausarbeit. Bezogen auf die Anzahl der Fälle ergibt sich eine Ausfallzeit pro Fall in Höhe von 0,53 Jahre. Die von **[BAUM, HÖHNSCHEID 1999]** angegebene jährliche haushaltliche Wertschöpfung beträgt für das Jahr 1994 ca. 14.178 DM pro Kopf und Jahr (8.331 € zum Preisstand 2004). Die haushaltsbezogenen außermärklichen Kosten betragen somit 4.415 € pro Krankheitsfall. Zusammen mit den schattenwirtschaftlichen Kosten resultieren die außermärklichen Gesamtkosten zu 4.531 € pro Krankheitsfall.

Bzgl. der Neubesetzungskosten werden die Kostensätze von **[BAUM, HÖHNSCHEID 1999]** übernommen (5.800 DM) und zum Preisstand des Jahres 2004 angegeben (3.296 €). Die Bestattungskosten werden ebenfalls von **[BAUM, HÖHNSCHEID 1999]** übernommen (1.400 DM zum Preisstand 1994; 823 € zum Preisstand 2004) und entsprechend des Anteils der tödlich verlaufenden Fälle an der Gesamtanzahl der 2004 registrierten Fälle ischämischer Herzkrankheiten zu einem Bestattungskostensatz pro Krankheitsfall zum Preisstand 2004 transformiert.

Abschließend ergibt sich der Kostensatz für ischämische Herzkrankheiten, wie in Tabelle 4-10 dargestellt, als Summe der berechneten Komponenten.

Tabelle 4-10: Externer Kostensatz zur Bewertung ischämischer Herzkrankheiten zum Preisstand 2004, eigene Berechnungen

Kostenkomponente	Kostensatz [€/Fall ischämischer Herzkrankheit] 2004
Krankheitskosten	21.459
Ressourcenausfallkosten	1.078
Humanitäre Kosten	28.352
Außermärkliche Kosten	4.531
Neubesetzungskosten	3.296
Bestattungskosten	30
Summe	58.746

Bewertung von Gesundheitsschäden infolge von Hypertonie

Hypertonie (Bluthochdruck) ist eine aufgrund ihrer starken Verbreitung³⁴ als "Volksleiden" bezeichnete Krankheit, deren Ursachen noch nicht abschließend geklärt sind. Ein dauerhaft erhöhter Blutdruck führt zur Schädigung der Blutgefäße und kann langfristig das Risiko einer ischämischen Herzkrankheit und die Gefahr eines Schlaganfalls erhöhen.

³⁴ Laut [GBE 2009] leidet ca. ein Drittel der deutschen Bevölkerung an dieser Krankheit

[KLUIZENAAR ET AL. 2001] gibt das Relative Risiko für Hypertonie infolge erhöhter Lärmimmissionen wie folgt an:

$$RR = 0,5 + 0,007 \cdot L_{DEN} \text{ für } L_{DEN} > 70 \text{ dB(A)} \quad 6$$

mit: L_{DEN} : Beurteilungspegel an der äußeren Hausfassade

Zur Ableitung einer Dosis-Wirkungsbeziehung ist die Kenntnis der Inzidenz von Hypertonie für Deutschland notwendig. Leider existieren darüber laut **[HENSE 2006]** keine gesicherten Daten. Allerdings wird auf eine Reihe ausländischer Studien verwiesen, nach denen die Inzidenz für Hypertonie zwischen 1,4 % und 3 % liegt. Da in Deutschland laut **[HENSE 2006]** weit mehr Menschen an Hypertonie erkranken als in anderen Industrienationen, wird in der vorliegenden Arbeit mit einer Inzidenz von 3 % gearbeitet.

Damit ergibt sich zusammen mit dem von **[KLUIZENAAR ET AL. 2001]** ermittelten Relativen Risiko folgender Erwartungswert für den Endpunkt "Anzahl der lärmbedingten Hypertonieerkrankungen"

$$E(X) = 0,21 \cdot L_{DEN} - 15 \text{ für } L_{DEN} > 70 \text{ dB(A)} \quad 7$$

mit: $E(X)$: Erwartungswert für die Anzahl der lärmbedingten Hypertonieerkrankungen pro 1.000 von einem Schalldruckpegel $L_{DEN} > 70 \text{ dB(A)}$ betroffene Personen und Jahr

Da kein methodisch und inhaltlich geeigneter Kostensatz zur Bewertung dieses Endpunktes vorliegt, wird dieser im Folgenden eigenständig entwickelt. Die dazu gewählte Vorgehensweise entspricht der Prozedur hinsichtlich der ischämischen Herzkrankheit. Bei Verwendung der Daten von **[DESTATIS 2008B]** und **[GBE 2009]** wird eine Doppelbewertung ausgeschlossen³⁵ und gleichzeitig eine umfassendere Berechnung der lärmbedingten Kosten durch Bluthochdruck sichergestellt. In die Berechnung sind folgende zusätzliche Daten und Annahmen eingegangen:

- Krankheitskosten 2004 gesamt: 8.025.000.000 €, **[DESTATIS 2008B]**
- Anzahl der Erkrankungen in 2004: 27.534.000 bei einer Prävalenz von ca. 33 %, **[GBE 2009]**
- durchschnittliche Krankheitsdauer: 16,8 Jahre³⁶

³⁵ In beiden Datenquellen werden separate Angaben für ischämische Herzkrankheiten und Hypertonie gemacht.

³⁶ Auch Hypertonie verläuft zumeist chronisch. Es gelten daher die gleichen Annahmen wie hinsichtlich der Dauer ischämischer Herzkrankheiten. Die dem Wert zugrunde liegende Altersverteilung und Restlebenserwartung ist im Anhang B tabelliert.

- davon tödlich verlaufende Krankheiten in 2004: 25.791 (0,1 %), **[GBE 2009]**
- verlorenen Erwerbstätigkeitsjahre der Altersgruppe "15 – 64 Jahre" im Jahr 2004: 29.000 Jahre, **[DESTATIS 2008B]**
- Mit nicht-tödlich verlaufenden Krankheitsfällen sind gleiche humanitäre Kosten verbunden wie mit durch Straßenverkehrsunfällen Leichtverletzten (1.700 DM zum Preisstand 1994, 999 € zum Preisstand 2004), eigene Annahme³⁷
- Mit nicht-tödlich verlaufenden Krankheiten sind keine Neubesetzungskosten verbunden, eigene Annahme
- Ausfallzeit durch Arbeitsunfähigkeit der Altersgruppe "15 – 64 Jahre": 15.000 verlorene Erwerbstätigkeitsjahre, **[DESTATIS 2008B]**
 - Ausfallzeit bei der Hausarbeit durch Arbeitsunfähigkeit pro Krankheitsfall der Altersgruppen "15 – 64 Jahre" sowie "65 Jahre und älter": 0,6 Tage
 - Ausfallzeiten bei der Hausarbeit durch Arbeitsunfähigkeit der Altersgruppe "65 Jahre und älter": 28.497 Jahre
- Durchschnittliches Erkrankungsalter in der Altersgruppe "15 – 64 Jahre": 53,3 Jahre, **[GBE 2009]**
- Ausfallzeit durch Invalidität in der Altersgruppe "15 – 64 Jahre": 8.000 verlorene Erwerbstätigkeitsjahre, **[DESTATIS 2008B]**
 - Verlorene Erwerbstätigkeitsjahre pro invalider Person der Altersgruppe "15 – 64 Jahre": 11,7 Jahre
 - 684 Invaliditätsfälle in der Altersgruppe "15 – 64 Jahre" (0,007 % der Erkrankten)
- Anzahl der Invaliditätsfälle pro Altersgruppe sowie zugehörige Ausfallzeiten: s. Anhang B
- Anzahl der Todesfälle pro Altersgruppe sowie zugehörige Ausfallzeiten: s. Anhang B

Demnach ergeben sich die in Tabelle 4-11 dargestellten Werte für die einzelnen Kostenkomponenten. In der Summe ergibt sich wiederum der Kostensatz zur Bewertung der lärmbedingten Fälle von Hypertonie.

³⁷ Diese Annahme lässt sich nicht verifizieren, da laut [Hacks et al. 2007] und [Slizyk 2006] keine Schmerzensgeldurteile für Hypertonieerkrankungen vorliegen.

Tabelle 4-11: Externer Kostensatz zur Bewertung von Hypertonieerkrankungen zum Preisstand 2004, eigene Berechnungen

Kostenkomponente	Kostensatz [€/Hypertonieerkrankung] 2004
Krankheitskosten	4.124
Ressourcenausfallkosten	35
Humanitäre Kosten	1.002
Außermarktliche Kosten	83
Neubesetzungskosten	3
Bestattungskosten	1
Summe	5.248

Eine Betrachtung weiterer Gesundheitsschäden entfällt, da die bisherige Datenbasis keine Quantifizierung anderer gesundheitlicher Wirkungen erlaubt.

Bewertung sonstiger "belästigender" Wirkungen

Für die vorliegende Arbeit wird der NSDI zu 0,9 bezogen auf den Mietpreis gewählt. Der Wert orientiert sich an allgemein anerkannten Studien und Untersuchungsergebnissen für Deutschland: [SCHMID 2005: S. 80] bezeichnet die Untersuchung von [SOGUEL 1994] als "allgemein anerkannte Studie" und empfiehlt die Anwendung des in dieser Untersuchung ermittelten NSDI von 0,91 % bezogen auf den Mietpreis. Auch [METRECONOMICA 2001] empfiehlt diesen NSDI zur Anwendung. [WEINBERGER ET AL. 1991] bildet aus den beiden ihm vorliegenden deutschen Studien von [POMMEREHNE 1986] und [BORJANS 1983] einen Mittelwert für den NSDI in Höhe von 0,88 % bezogen auf den Mietpreis. Da sich sowohl das Durchschnittseinkommen als auch die Mietpreise in gleichem Maße zwischen 1991 und 2001 um ca. 30 % gestiegen sind, ist davon auszugehen, dass dieser NSDI auch für das Jahr 2004 verwendet werden darf. Weiterhin bewegt sich der gewählte Wert im Mittelfeld der in verschiedenen Untersuchungen ermittelten Spannweiten³⁸.

Ausgehend von einer auf der Grundlage von [DESTATIS 2006] und [DESTATIS 2008A] ermittelten durchschnittlichen Nettokaltmiete von 4007 € für das Jahr 2004 pro Haushalt und Jahr ergibt sich somit ein Kostensatz in Höhe von 36 € pro Haushalt, Jahr und Dezibel. Damit ergibt sich der gleiche Kostensatz wie in der Untersuchung von [SCHMID 2005]. Bei laut [DESTATIS 2008A] durchschnittlich 2,12 Personen pro Haushalt im Jahr 2004 resultieren daraus 17 € pro Person, Jahr und Dezibel.

Der Grenzwert für das Auftreten "belästigender" Lärmwirkungen wird mit $L_{DEN} = 50 \text{ dB(A)}$ in Anlehnung an [NAVRUD 2002] angenommen. Er liegt damit im Sinne einer aus Verursachersicht günstigen Kostenermittlung über dem von [WEINBERGER ET AL. 1991] angegebenen Wert von 45 dB(A).

³⁸ s. Kapitel 4.2.3.1

Die eingesetzten Bewertungsverfahren bewerten ausschließlich Lärmwirkungen, die als externe Effekte auftreten. Daher ist keine weitere Unterteilung der berechneten Kosten in interne und externe Bestandteile notwendig.

4.2.4 Mengengerüst und Allokationsrechnung

Mit der Einführung der EU-Richtlinie **[KOM 2002]** verfolgt die Europäische Union langfristig das Ziel, schadhafte Wirkungen von Umgebungslärm zu verhindern, diesen vorzubeugen oder sie zu mindern. Zur Erreichung dieses Ziels sind die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union verpflichtet, schrittweise zielgerichtete Maßnahmen zu ergreifen. Dabei steht die Ermittlung des Umgebungslärms und seiner schadhafte Wirkungen an erster Stelle des Maßnahmenbündels. Bezogen auf den vom Straßenverkehr erzeugten Umgebungslärm heißt es dazu: "Die Mitgliedsstaaten sorgen dafür, dass spätestens bis zum 30. Juni 2007 für das vorangegangene Kalenderjahr strategische Lärmkarten für sämtliche Ballungsräume mit mehr als 250.000 Einwohnern sowie für sämtliche Hauptverkehrsstraßen mit einem Verkehrsaufkommen von über sechs Millionen Kraftfahrzeugen pro Jahr (...) in ihrem Hoheitsgebiet von den zuständigen Behörden ausgearbeitet und gegebenenfalls genehmigt sind" **[KOM 2002: ARTIKEL 7, ABSATZ 1]**.

Ein Verkehrsaufkommen von sechs Millionen Kraftfahrzeugen pro Jahr entspricht einer DTV von ca. 16.000 Kfz/24h. Damit liegen für nahezu alle Autobahnabschnitte entsprechende Lärmkarten vor. Mit der Ausweitung der Erstellungspflicht für Lärmkarten auf alle Hauptverkehrsstraßen bis zur Mitte des Jahres 2012 ist sichergestellt, dass auch für Ausnahmen mit geringerer DTV in wenigen Jahren detaillierte Lärmkarten erstellt werden.

Lärmkarten beinhalten generell Angaben zu den Schalldruckpegeln L_{DEN} und L_{Night} . Da es sich um grafische Darstellungen der lärm erzeugenden Infrastruktur und der betroffenen Umgebung handelt, werden die Schalldruckpegel als Isophonen-Bänder dargestellt. Für Straßen werden separate Lärmkarten erstellt. Neben der grafischen Darstellung werden u. a. tabellarische Angaben zur Anzahl der an ihren Wohnstandorten betroffenen Bevölkerung, unterteilt nach Schalldruckpegeln, gemacht. Die EU-Richtlinie wurde, bezogen auf den Straßenverkehr durch §47 des **[BIMSCHG 2007]**, die **[34. BIMSCHV 2006]** und die **[VBUS 2006]** in deutsches Recht umgesetzt.

Insgesamt eignen sich nach der EU-Richtlinie erstellte Lärmkarten und Informationen über die Anzahl der von Straßenverkehrslärm betroffenen Personen als Mengengerüst zur Ermittlung von externen Lärmkosten nach der für diese Arbeit gewählten Methodik.

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge bzgl. der Ausbreitung und Immission von Lärm ist eine exakte abschnittsbezogene Allokation kaum möglich. Dies gilt

in besonderem Maße, wenn berücksichtigt wird, dass sich die Wirkungen verschiedener Lärmquellen am Ort der Immission überlagern. Dieser Umstand wird an einem kurzen Beispiel erläutert: Eine Wohnung liegt im Bereich der Lärmimmissionen zweier Abschnitte A und B. Die Lärmimmission der Abschnitte beträgt jeweils 49 dB(A). Damit lägen keine schadhafte Lärmwirkungen vor, wenn nur einer der beiden Abschnitte betrachtet würde bzw. vorhanden wäre. Durch die Überlagerung der beiden Lärmimmissionen ergibt sich aufgrund der energetischen Addition der beiden einzelnen Schalldruckpegel ein Lärmpegel in der Höhe von 52 dB(A). Für das Beispiel tritt damit eine schädigende Wirkung ein, da der Grenzwert für "belästigende" Lärmwirkungen um 2 dB(A) überschritten wird. In diesem Beispiel könnten die entstehenden Kosten zu gleichen Teilen den beiden Abschnitten zugeordnet werden. Problematisch wird die Zuordnung allerdings bei zwei unterschiedlichen Schalldruckpegeln. Für einen solchen Fall wäre die prozentuale Zuordnung der Kosten kaum möglich.

Aufgrund der methodischen Festlegung vorhandene Mengengerüste zu verwenden, ergibt sich für diese Arbeit eine weitere Schwierigkeit: Die Schalldruckpegel der beiden Abschnitte liegen nicht separat vor. Dazu wäre die Erstellung eines neuen Lärmmodells notwendig.

Es wird daher folgende vereinfachende Annahme hinsichtlich der Zuordnung von Lärmimmissionen zu Lärmquellen getroffen: Die Lärmbelastung an der Außenfassade der einzelnen Gebäude wird ursächlich dem Abschnitt zugeordnet, der die geringste Luftlinienentfernung zum betreffenden Gebäude aufweist. Diese Vorgehensweise erscheint zulässig, da die Entfernung zwischen Emissions- und Immissionsort entscheidenden Einfluss auf die Höhe des Schalldruckpegels hat. Das Gebäude wird damit dem Abschnitt zugewiesen, der mit hoher Wahrscheinlichkeit hauptsächlich zur Lärmbelastung des Gebäudes beiträgt. Dabei wird angenommen, dass eventuell vorhandene Lärmschutzmaßnahmen im Falle mehrerer Lärmquellen gleichmäßig reduzierend auf die einzelnen Schalldruckpegel dieser Lärmquellen wirken.

Neben dieser abschnittsbezogenen Allokation muss noch die fahrzeugklassenbezogene Allokation erfolgen. Dazu liegen aus unterschiedlichen Studien Angaben vor. **[GRUPP 1986]** unterstellt, dass ein Fahrzeugkilometer eines Lkws lärmäßig im Durchschnitt 15 Fahrzeugkilometern eines Pkws entspricht. Diese Einschätzung greift **[DOGS, PLATZ 1990]** auf, während **[MAUCH ET AL. 1995]** und **[KRELL 1990]** angeben, dass ein Lkw-Fahrzeugkilometer mit zehn Pkw-Fahrzeugkilometern vergleichbar ist. **[BAUM ET AL. 1998]** widerspricht den beiden Annahmen, da in den genannten Studien keine Begründungen genannt werden und die Werte nicht das Verhältnis zwischen der Lärmemission eines vorbeifahrenden Lkws und eines Pkws angeben. Wären die Verhältnisse der

Lärmemissionen maßgebend, müsste laut **[BAUM ET AL. 1998]** ein Fahrzeugkilometer eines Lkws in etwa zwei Fahrzeugkilometern eines Pkws entsprechen. Würden hingegen die Kosten zur aktiven Lärminderung als Grundlage herangezogen, ergäbe sich laut **[BAUM ET AL. 1998]** der Faktor sechs zwischen Lkw- und Pkw-Fahrzeugkilometer. **[LINK ET AL. 2002]** gibt folgende Gewichtungsfaktoren an:

- Pkw: 1 (als Bezugspunkt)
- Motorrad: 5
- Bus: 6
- Leichter Lkw: 7
- Schwerer Lkw: 14

Für die vorliegende Arbeit wird diese Unterteilung übernommen, da sie die differenziertesten Werte auf der Basis von Lärmemissionen vorbeifahrender Fahrzeuge beinhaltet und am aktuellsten ist. Da nur zwischen "Lkw ≥ 12 t zGG" und "Sonstigen Fahrzeugen" unterschieden wird, werden auf der Basis der Fahrleistungen der oben genannten Fahrzeuggruppen neue Verhältniswerte errechnet³⁹. Demzufolge entspricht ein Fahrzeugkilometer eines Lkws ≥ 12 t zGG in etwa 7,7 Fahrzeugkilometer sonstiger Fahrzeuge.

Zur fahrleistungsbezogenen Allokation werden transformierte Daten von **[KATHMANN ET AL. 2007]** herangezogen.

4.3 Kosten durch Beiträge zum Klimawandel

4.3.1 Einführung

Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel of Climate Change - IPCC) sieht es als "wahrscheinlich" bzw. "sehr wahrscheinlich" **[BERNSTEIN ET AL. 2007]** an, dass die bei **[BERNSTEIN ET AL. 2007]** dargestellten Schäden auf die globale Erwärmung und diese wiederum auf eine durch menschliche Aktivitäten verursachte, erhöhte Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre zurückzuführen ist. In der vorliegenden Arbeit wird daher entsprechend des derzeitigen Wissens ein Einfluss der Treibhausgase auf das terrestrische Klimasystem als gegeben angenommen.

Treibhausgase besitzen aufgrund ihrer unterschiedlichen Strahlungseigenschaften und Verweildauern in der Atmosphäre unterschiedliche Wirksamkeiten bezo-

³⁹ s. Anhang B

gen auf den Treibhauseffekt. Diese Wirksamkeit wird auch als Treibhauspotenzial, Erwärmungspotenzial oder Global Warming Potential (GWP) bezeichnet. Das GWP eines Treibhausgases gibt das Erwärmungspotenzial eines Kilogramms dieses Gases für einen bestimmten Zeitraum (i. d. R. 100 Jahre) bezogen auf das entsprechende Potenzial eines Kilogramms Kohlendioxid (CO₂) an. Das Erwärmungspotenzial von CO₂ wird demnach als Referenzwert genutzt; im Zusammenhang mit dem GWP wird daher auch von CO₂-Äquivalenten gesprochen. Tabelle 4-12 beinhaltet die durch den motorisierten Verkehr freigesetzten langlebigen Treibhausgase und gibt das GWP für 100 Jahre und die mittlere Verweildauer eines Moleküls der Gase in der Atmosphäre nach [PARRY ET AL. 2007] an.

Tabelle 4-12: Vom motorisierten Verkehr direkt emittierte langlebige Treibhausgase und GWP-Werte, nach [Parry et al. 2007]

Treibhausgas	GWP	Verweildauer in Atmosphäre [a]
Kohlendioxid (CO ₂)	1	5 - 200
Methan (CH ₄)	25	13
Distickstoffmonoxid oder Lachgas (N ₂ O)	298	114

Troposphärisches Ozon trägt ebenfalls zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. Es ergibt sich aus dem Zusammenspiel flüchtiger organischer Substanzen (VOC), Stickoxiden (NO_x) und Sonneneinstrahlung und wird daher u. a. auch auf den motorisierten Verkehr zurückgeführt. Da es eine kurze Verweildauer (wenige Tage bis zu einigen Monaten) in der Atmosphäre hat und die bisherigen Bemühungen zur Reduktion des menschlich bedingten Treibhauseffekts hauptsächlich auf die Reduktion von Treibhausgasen mit langer Verweildauer abzielen, liegen nur wenige Informationen hinsichtlich troposphärischen Ozons vor. Es wird daher im Folgenden nicht näher betrachtet. Mit Fluorkohlenwasserstoffen (FKW) kommen weitere Treibhausgase als Kältemittel in Klimaanlage von Fahrzeugen zum Einsatz. Bei Leckagen können diese austreten und klimawirksam werden. Fluorkohlenwasserstoffe zeichnen sich durch z. T. sehr hohe GWP aus. Insgesamt nehmen diese auch als F-Gase bezeichneten Treibhausgase trotzdem eine untergeordnete Rolle beim anthropogenen Treibhauseffekt ein. Der Anteil von F-Gasen an der Gesamtemission von Treibhausgasen mit langen Verweildauern in der Atmosphäre wird von [BERNSTEIN ET AL. 2007] mit lediglich 1,1 % (CO₂-Äquivalenten) für 2004 angegeben, wie Abbildung 4-2 zu entnehmen ist. Daher werden sie im Rahmen dieser Arbeit, wie auch bei den meisten anderen Untersuchungen zur Thematik, vernachlässigt.

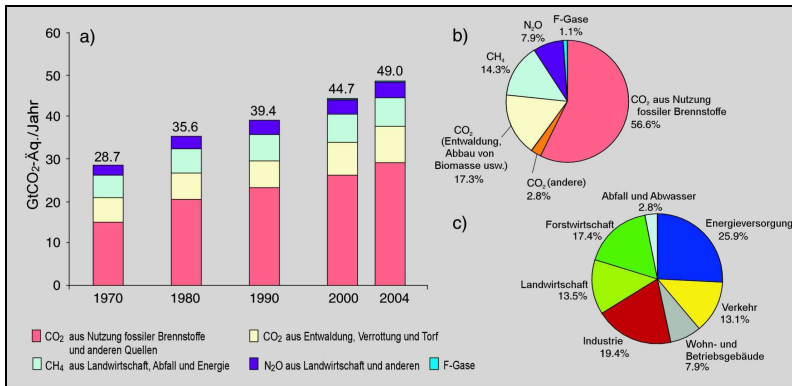


Abbildung 4-2: (a) Weltweite jährliche Emissionen anthropogener Treibhausgase von 1970 bis 2004. (b) Anteil unterschiedlicher anthropogener Treibhausgase an den Gesamtemissionen im Jahr 2004 als CO₂-Äq. (c) Anteil unterschiedlicher Sektoren an den gesamten anthropogenen Treibhausgasemissionen im Jahr 2004 als CO₂-Äq. (Forstwirtschaft schließt Entwaldung mit ein). [Bernstein et al. 2007]

Im Jahr 2005 wurden vom motorisierten Straßenverkehr in Deutschland laut **[RADKE 2007]** insgesamt 164.000.000 t CO₂, 9.000 t CH₄ und 4.000 t N₂O direkt freigesetzt. Demnach ergeben sich direkt straßenverkehrlich bedingte Treibhausgase in Höhe von 165.417.000 t umgerechnet in CO₂-Äquivalenten. Bezogen auf die von **[UNFCCC 2008]** angegebenen Gesamtemissionen Deutschlands in Höhe von 1.005.000.000 t CO₂-Äquivalenten ergibt sich ein straßenverkehrsbezogener Anteil von 16,5 %.

4.3.2 Betrachtete Wirkungen

Als Folge des anthropogenen Treibhauseffekts wird eine Vielzahl z. T. miteinander im Zusammenhang stehender Wirkungen genannt, die in Abhängigkeit von der Stärke des menschlich bedingten Treibhauseffekts bzw. Temperaturanstiegs unterschiedlich stark ausfallen. In Anlehnung an **[SCHREYER ET AL. 2006]** fasst die folgende Auflistung die wesentlichen Aussagen zusammen:

- Der Temperaturanstieg führt zu einer Zunahme von Extremwetterereignissen, die große Schäden an Sachgütern und Personen nach sich ziehen.
- Der Temperaturanstieg bewirkt das Abschmelzen der polaren Eismassen und führt zu einem Anstieg des Meeresspiegels. Damit können Überflutungen, Küstenerosionen und Verluste küstennaher, tiefliegender Gebiete einhergehen.
- Gleichzeitig führt der Temperaturanstieg zum drastischen Rückgang von Wasserressourcen, zur Verschlechterung der Wasserqualität durch geringe-

re Fließgeschwindigkeiten und zu einer zunehmenden Versalzungsgefahr im Zusammenhang mit dem Anstieg des Meeresspiegels.

- Die Artenvielfalt temperatursensibler Ökosysteme geht mit dem Temperaturanstieg zurück. Des Weiteren breiten sich Schädlinge und Krankheiten in der Fauna und Flora aus.
- Steigende Temperaturen führen zu einer höheren Mortalität insbesondere der älteren Bevölkerung durch Hitzestress und der Ausbreitung von Infektionskrankheiten wie Malaria.
- Für bisher gemäßigte Klimazonen wie bspw. Nord- und Mitteleuropa folgen aus dem Temperaturanstieg nicht zwangsläufig höhere Ernteerträge. Im Zusammenhang mit schrumpfenden Wasserressourcen können diese u. U. auch zurückgehen. Zurückgehende Ernteerträge infolge von Wassermangel sind in jedem Fall für Gebiete zu befürchten, die bisher zu den subtropischen und tropischen Klimazonen zählen. Zudem werden Ernteaufschläge durch Extremwetterereignisse wahrscheinlicher.
- Dem verringerten Heizbedarf steht ein höherer Energiebedarf durch den vermehrten Einsatz von Klimaanlage entgegen. Die Effekte auf den Energiebedarf werden daher bestenfalls als neutral eingeschätzt.
- Als indirekte Folge ergeben sich soziale Konflikte um die knapper werdenden Wasser- und Nahrungsmittelressourcen insbesondere in Drittmittelländern. Der Migrationsdruck auf die Industrienationen wird wachsen.
- Durch das Überschreiten noch nicht exakt ermittelter Temperaturgrenzwerte kann ein so genanntes Klimafeedback eintreten. Ein Klimafeedback zeichnet sich dadurch aus, dass den Treibhauseffekt begünstigende Prozesse gestartet bzw. beschleunigt werden. Der eigentliche anthropogene Treibhauseffekt wird durch diese Prozesse in seinen Wirkungen noch verstärkt.

4.3.3 Bewertungsverfahren/Wertegerüst

4.3.3.1 Vorstellung verschiedener Verfahren

Insgesamt wird deutlich, dass vielfältige Schäden mit Auswirkungen auf die Wertschöpfung infolge des anthropogenen Treibhauseffekts zu benennen sind, die hinsichtlich der methodischen Festlegungen dieser Arbeit einen externen Charakter besitzen. Aufgrund mangelnder oder umstrittener Dosis-Wirkungsbeziehungen können bisher nur wenige dieser Wirkungen quantitativ ermittelt bzw. abgeschätzt werden. Damit kann der Schadenskostenansatz nicht oder nur eingeschränkt zur Anwendung kommen. Die Mehrzahl der bei

[SCHREYER ET AL. 2006] und [MAIBACH ET AL. 2007] dargestellten aktuellen Studien zur Monetarisierung der verkehrlich bedingten Wirkungen des anthropogenen Treibhauseffekts greift daher auf den Vermeidungskostenansatz zurück. [MAIBACH ET AL. 2007] ist trotz dieser Probleme der Auffassung, dass der Vermeidungskostenansatz zur Ermittlung kurzfristiger und der Schadenskostenansatz zur Berechnung langfristiger Klimakosten eingesetzt werden sollte. Diese Meinung wird damit begründet, dass der Vermeidungskostenansatz nur dann angewendet werden könne, wenn die ihm zugrunde gelegten Zielwerte vertraglich festgelegt sind. Das einzige Dokument dieser Art sei momentan das Kyoto-Protokoll, das Reduktionsziele für den Zeitraum bis 2012 beinhaltet. Langfristige Reduktionsziele, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen bzgl. der Folgen des Überschreitens von Grenzwerten von Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre basieren, werden von [MAIBACH ET AL. 2007] als nicht bindende oder gesellschaftlich nicht anerkannte Zielwerte bezeichnet und dürften deshalb nicht im Zusammenhang mit dem Vermeidungskostenansatz verwendet werden. Daher könnten Kostensätze über den Vermeidungskostenansatz nur für den Zeitraum bis 2020 ermittelt werden. Darüber hinaus sei der Schadenskostenansatz anzuwenden. Dieser Argumentation muss nach Ansicht des Verfassers widersprochen werden, wenn diese langfristigen Zielwerte auf den gleichen wissenschaftlichen Erkenntnissen basieren, aus denen für Verfahren nach dem Schadenskostenansatz Dosis-Wirkungsbeziehungen abgeleitet werden. Dies ist bei Untersuchungen zu externen Klimakosten des Verkehrs weitgehend der Fall. Da die bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse nur bedingt ausreichen, um detaillierte und abgesicherte Dosis-Wirkungsbeziehungen abzuleiten, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit dem Vermeidungskostenansatz zur Ermittlung der Klimakosten der Vorzug gegeben.

In einigen Untersuchungen der vergangenen Jahre werden Klimakosten auf der Basis des Emissionsrechtehandels ermittelt, der im Zusammenhang mit dem Umweltschutz erstmals von [DALES 1968] diskutiert wurde. Auch im Bereich des anthropogenen Treibhauseffekts gibt es hierzu Ansätze. Im Artikel 17 des Kyoto-Protokolls ist der zwischenstaatliche Emissionsrechtehandel als eines der Instrumente zur Erreichung des weltweiten Reduktionsziels verankert. Es sieht konkret vor, dass Staaten nicht von ihnen ausgeschöpfte Emissionsrechte an andere Staaten, die wiederum ihre ihnen zugestandenen Emissionsobergrenzen überschreiten, verkaufen können. In diesem Zusammenhang ist es auch denkbar, dass ein Staat A, der mit geringem finanziellem Aufwand seine Emissionen reduzieren kann, entsprechende Maßnahmen ergreift und die dadurch frei werdenden Emissionsrechte an einen Staat B verkauft, der seine Emissionen nur zu sehr hohen Kosten selbst reduzieren könnte. Voraussetzung für einen solchen Handel ist, dass beide Staaten daraus einen Vorteil ziehen. Dieser ergibt sich,

wenn die Vermeidungskosten von A geringer sind als der für die Emissionsrechte gezahlte Preis und wenn die potenziellen Vermeidungskosten von B diesen Preis übersteigen. Dieser Ansatz wird in einigen Studien zur Höhe der Klimakosten aufgegriffen. Der Kostensatz pro Tonne emittiertem CO₂-Äquivalent entspricht dabei dem Preis für das Emissionsrecht einer Tonne CO₂-Äquivalent. Wird das langfristige Ziel des Emissionsrechtehandels, nämlich eine Angleichung der weltweiten Vermeidungskosten für Treibhausgase, vergegenwärtigt, wird deutlich, dass mit dieser Vorgehensweise der Vermeidungskostenansatz angewendet wird.

Aufgrund der Anwendung des Vermeidungskostenansatzes und der vom Verfasser der vorliegenden Arbeit als wahrscheinlich erachteten zukünftigen Ausweitung des zwischenstaatlichen Emissionsrechtehandels wird dieser Ansatz in der vorliegenden Arbeit präferiert. Die Kostensätze bisheriger Untersuchungen auf der Basis dieses Ansatzes unterscheiden sich aber aufgrund folgender methodischer Festlegungen:

Die Untersuchungen verwenden unterschiedliche Zielwerte bzgl. der Klimagas-konzentration in der Atmosphäre, den damit verbundenen Reduktionszielen bzgl. des Klimagasausstoßes und unterschiedliche Zeithorizonte bis zu denen die Zielwerte erreicht werden sollen. Die gebräuchlichsten Zielwerte und Zeithorizonte der vorliegenden Studien sind:

- die durch das Kyoto-Protokoll festgelegten Reduktionsziele des Zeitraums 1990 – 2012 (Deutschland: Reduktion des Ausstoßes um 21 % im Vergleich zu 1990);
- Szenarien und daraus abgeleitete Reduktionsziele, die sich aus dem allgemeinen Ziel der Europäischen Union ergeben, wonach eine durchschnittliche Erderwärmung von mehr als 2°C für das Jahr 2100 im Vergleich zur vorindustriellen Periode vermieden werden soll⁴⁰. Diese Szenarien bzw. Reduktionsziele unterscheiden sich voneinander, da sie auf unterschiedlichen Klimamodellen und angenommenen Randbedingungen basieren und ihnen unterschiedliche zeitliche Verläufe bzgl. der Klimagasemissionen zugrunde liegen.

Die wichtigsten dieser Szenarien bzw. Reduktionsziele sind

- die vom Umweltbundesamt angestrebte maximale CO₂-Konzentration von 450 ppm bzw. 550 ppm in der Atmosphä-

⁴⁰ Diesem Ziel liegt die Annahme zugrunde, dass eine Erderwärmung um mehr als 2°C nicht absehbare, katastrophale Schadenswirkungen nach sich ziehen wird.

re⁴¹, mit der für Deutschland die in Tabelle 4-13 dargestellten Reduktionsziele verbunden sind;

Tabelle 4-13:

Reduktionsziele des Kohlendioxidausstoßes Deutschlands bezogen auf die Emissionen des Jahres 1990 für den Zeitraum bis 2020 bzw. 2050 in Abhängigkeit von der angestrebten maximalen CO₂-Konzentration in der Atmosphäre, nach [Höhne et al. 2005]

Jahr	Kohlendioxidkonzentration	
	450 ppm	550 ppm
2020	32 % bis 38 %	22 % bis 28 %
2050	78 % bis 82 %	60 % bis 70 %

- die von der Europäischen Kommission angestrebte maximale Treibhausgaskonzentration von 650 ppm oder 550 ppm (CO₂-Äquivalente) in der Atmosphäre bis zum Jahr 2100 (S650e und S550e Szenarien), aus denen sich die in Tabelle 4-14 angegebenen Reduktionsziele für Staaten der EU bis 2025 und 2050 ableiten lassen.

Tabelle 4-14:

Reduktionsziele des Treibhausgasausstoßes für Staaten der EU bezogen auf die Emissionen des Jahres 1990 für die Zeiträume bis 2020 bzw. 2050 in Abhängigkeit vom gewählten Konzentrations-Szenario, nach [Criqui et al. 2003]

Jahr	Szenario	
	S550e	S650e
2025	25 % bis 42 %	4 % bis 16 %
2050	59 % bis 78 %	26 % bis 60 %

Alle bisherigen Arbeiten verwenden bei der Berechnung der Kostensätze die Grenzkostenrechnung. Da die Ermittlung eigener Kostensätze auf der Basis der Durchschnitts- bzw. Vollkostenrechnung den Rahmen dieser Arbeit überschreiten würde, muss, wie bereits im Kapitel 3.1.3 angemerkt, eine Abweichung von den methodischen Festlegungen hingenommen werden. Generell soll aber betont werden, dass dadurch das Ziel der Kostendeckung nicht aufgegeben wird. In Abbildung 4-3 sind die Verläufe der Grenz- ($K'(x)$) und Durchschnittskosten ($K(x)/x$) nach dem Vermeidungskostenansatz für den Bereich der Klimakosten qualitativ dargestellt. Da aufgrund des für Vermeidungsmaßnahmen geltenden Wirtschaftlichkeitsgebots mit zunehmender Reduktion des Treibhausgasausstoßes jede weitere Vermeidungsmaßnahme mit höheren Kosten verbunden ist als die vorangegangene, steigen die Grenzkosten mit abnehmendem Treibhausgasausstoß überproportional an. Daraus ergibt sich, dass die Grenzkosten über den gesamten Wertebereich des Treibhausgasausstoßes mindestens den

⁴¹ Diese Konzentrationsziele entsprechen in etwa dem 550 ppm bzw. 650 ppm-Ziel der Europäischen Kommission. Die jeweilige Differenz zum Ziel der Europäischen Kommission entspricht etwa 100 ppm CO₂-Äquivalenten der von der Europäischen Kommission außerdem berücksichtigten Klimagase.

Durchschnittskosten entsprechen und dass bei Anwendung eines über die Grenzkostenrechnung ermittelten Kostensatzes trotzdem eine Kostendeckung erzielt wird.

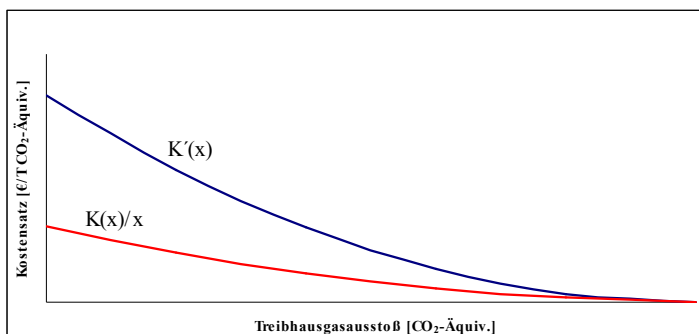


Abbildung 4-3: Verlauf der Grenz- und Durchschnittskostenkurve der Vermeidungskosten im Kostenbereich "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel", eigene Darstellung

4.3.3.2 Gewählte Bewertungsmethodik

Aus der Vielzahl der vorliegenden Studien entspricht die Untersuchung von **[LEIMBACH ET AL. 2009]** am besten den methodischen Festlegungen. Das zugrunde liegende Szenario sieht zur Erreichung des 2°C-Ziels eine maximale CO₂-Konzentration von 415 ppm im Jahr 2030 und ähnliche Reduktionsziele wie das 450 ppm-Szenario vor. Die im Zeitverlauf ansteigenden Kostensätze der Tabelle 4-15 entsprechen den prognostizierten Preisen für Emissionsrechte von Klimagasen unter der Annahme einer Ausweitung des zwischenstaatlichen Handels mit diesen Rechten. Aufgrund ihrer hohen Aktualität gewährleistet die Studie, dass aktuellere Forschungserkenntnisse bei den verwendeten Klimamodellen berücksichtigt wurden.

Tabelle 4-15: Externe Kostensätze pro Tonne CO₂-Äquivalent in Abhängigkeit vom betrachteten Jahr, nach [Leimbach et al. 2009] umgerechnet zum Preisstand 2004

Jahr	Kostensatz [€/t CO ₂ -Äquiv.]
2005	9
2010	19
2015	20
2020	35
2025	46
2030	61
2035	82
2040	109
2045	83
2050	116
2055	157
2060	216
2065	519
2070	480
2075	865
2080	803
2085	1.015
2090	1.275
2095	1.589
2100	1.928

Beim Vergleich dieser Kostensätze mit Werten anderer Studien (s. Abbildung 4-4) der vergangenen Jahre fällt auf, dass

- **[LEIMBACH ET AL. 2009]** Kosten bis zum Jahr 2100 prognostiziert haben, während in allen anderen Studien Werte bis zum Jahr 2050 angegeben sind und
- **[LEIMBACH ET AL. 2009]** für den Zeitraum bis 2050 Kostensätze angeben, die im Vergleich zu anderen Untersuchungen im Bereich zwischen den Durchschnittswerten (central value) und den Maximalwerten (upper value) liegen.

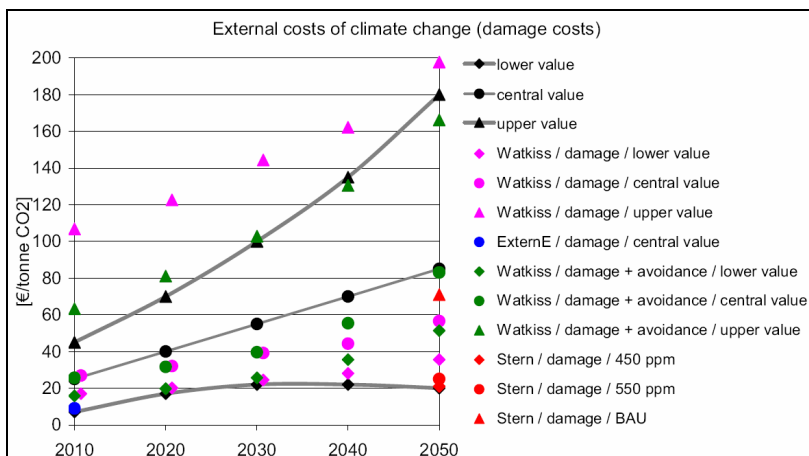


Abbildung 4-4: Externe Kostensätze nach dem Vermeidungskostenansatz für den Kostenbereich "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel", [Maibach et al. 2007]

Die Verwendung eines - bezogen auf die in Tabelle 4-15 dargestellten Werte - mittleren Kostensatzes erscheint vor dem Hintergrund einer gerechten intergenerationellen Lastenverteilung der Vermeidungsstrategie als sinnvoll. Bei der gewählten Diskontrate von 2 % ergibt sich der mittlere Kostensatz zu 105 €/t CO₂-Äquivalent.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Kostensätze insbesondere des betrachteten Kostenbereichs das Ergebnis gedanklicher Konstrukte und weitreichender Prognosen sind. Die Diskussion der gewählten Kostensätze ist immer vor dem Hintergrund dieser Grundlagen zu führen.

4.3.4 Mengengerüst und Allokationsrechnung

Als Mengengerüst werden Daten der i. d. R. von den Bundesländern erstellten Emissionskataster verwendet. Diese Kataster enthalten zumeist für Autobahnen abschnittsbezogene Emissionswerte der Klimagase CO₂, CH₄ und N₂O.

Die fahrzeugklassenbezogene Allokation erfolgt unter Berücksichtigung des Verhältnisses der durchschnittlichen Emissionen von Fahrzeugen der Fahrzeugklassen "Lkw ≥ 12 t zGG" und "Sonstige Fahrzeuge". Dieses Verhältnis wird auf Basis der in Tabelle 4-16 angegebenen Emissionsfaktoren der Fahrzeugklassen nach [KELLER ET AL. 2004] bestimmt.

Tabelle 4-16: Emissionsfaktoren umgerechnet in CO₂-Äquivalenten für das Jahr 2005 und der Verkehrssituation "Autobahndurchschnitt", nach [Keller et al. 2004]

Fahrzeugklassen	Ausstoß [g CO ₂ -Äquivalenten/Fzkm]
Pkw	201,66
LNF	275,31
RBus	839,83
LBus	730,33
KR	116,04
SNF	710,48

In Tabelle 4-17 sind die Definitionen der Fahrzeugklassen nach [Keller et al. 2004] angegeben.

Tabelle 4-17: Fahrzeugklassen nach [Keller et al. 2004]

Fahrzeugklassen	Beschreibung
Pkw	Personenkraftwagen
LNF	Lastkraftwagen $\leq 3,5$ t zGG
RBus	Reisebus
LBus	Linienbus
KR	Kraftrad
SNF	Lastkraftwagen $> 3,5$ t zGG

Diese werden in die beiden in dieser Arbeit verwendeten Fahrzeugklassen "Lkw ≥ 12 t zGG" und "Sonstige Fahrzeuge" unter der Annahme, dass der prozentuale Anteil der Fahrleistungen der Fahrzeugklassen an den Gesamtfahrleistungen im Netz denen des einzelnen Abschnitts entspricht, transformiert⁴². Damit ergeben sich für die beiden Fahrzeugklassen die in Tabelle 4-18 angegebenen Emissionsfaktoren.

Tabelle 4-18: Emissionsfaktoren in CO₂-Äquivalenten für das Jahr 2005, eigene Berechnungen nach Daten von [Keller et al. 2004]

Verwendete Fahrzeugklassen	Ausstoß [g CO ₂ -Äquivalenten/Fzkm]
Sonstige Fahrzeuge	223,16
Lkw ≥ 12 t zGG	710,48

Es ist ersichtlich, dass der Klimagasausstoß eines Lkw ≥ 12 t zGG bezogen auf einen Fahrzeugkilometer in etwa den Emissionen von 3,2 sonstigen Fahrzeugen entspricht.

Unter Verwendung der transformierten SV-Anteile von [KATHMANN ET AL. 2007] wird die fahrleistungsbezogene Kostenaufteilung für jeden Abschnitt vorgenommen.

⁴² s. Anhang C

4.4 Kosten durch Luftverschmutzung

4.4.1 Einführung

Luftschadstoffen werden im Zusammenhang mit externen Kosten des Verkehrs verkehrsbedingte, luftgetragene Emissionen unterschiedlicher gasförmiger und fester Stoffe zugeordnet. Feste Stoffe werden häufig insofern mitbetrachtet, als dass sie aufgrund ihrer geringen Größe und Dichte als Feinstaub zu den luftgetragenen Emissionen zählen.

Zu den in unterschiedlichen Studien berücksichtigten Stoffen zählen:

- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffoxide (NO_x)
- Schwefeldioxid (SO₂)
- Feinstaub (PM₁₀ und/oder PM_{2,5})
- Flüchtige organische Verbindungen (VOC)
- Klimagase

Da in dieser Arbeit Gase, die den anthropogenen Treibhauseffekt befördern, und Schwermetalle, die zu Wasser- und Bodenverschmutzung führen, aufgrund ihrer besonderen Wirkungsweise separat betrachtet werden, zählen diese nicht zu den in diesem Kapitel im Weiteren behandelten Luftschadstoffen.

Wie in Abbildung 4-5 dargestellt, gehen die Emissionen der in diesem Kapitel betrachteten Schadstoffe des Straßenverkehrs seit 15 bis 30 Jahren kontinuierlich zurück. Trotz dieser positiven Entwicklung resultieren aus den verbleibenden Emissionen nach wie vor schadhafte Wirkungen und damit externe Kosten, wie im nachfolgenden Kapitel 4.4.2 aufgezeigt wird.

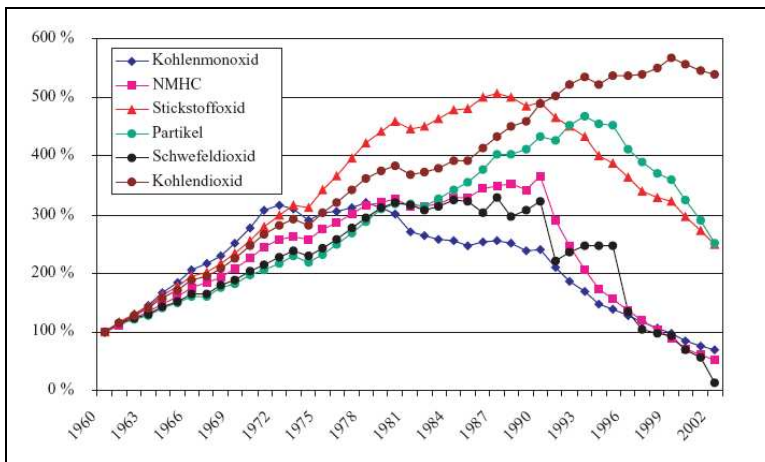


Abbildung 4-5: Entwicklung der Abgasemissionen aus Pkw und Lkw in Deutschland⁴³ im Vergleich zum Emissionsstand 1960, [Koch et al. 2005]

NMHC = flüchtige Kohlenwasserstoffe ohne Methan, Untergruppe der NMVOC (flüchtige organische Verbindungen ohne Methan)

4.4.2 Betrachtete Wirkungen

Um einen Überblick über die Wirkungsweisen der einzelnen Luftschadstoffe zu geben, werden sie im Folgenden kurz dargestellt. Umfassendere Informationen sind z. B. bei [BLEI 2008], [FGSV 2005] und [KOCH ET AL. 2005] dokumentiert.

Kohlenmonoxid (CO) entsteht im Zusammenhang mit dem Straßenverkehr durch die unvollständige Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Kraftstoffen. Da CO eine ca. 300-mal stärkere Affinität zu dem für den Blutsauerstofftransport hauptverantwortlichen Hämoglobin als zum Sauerstoff (O₂) hat, führt eine erhöhte CO-Konzentration in der Atemluft zu einer Unterversorgung mit Sauerstoff. Laut Umweltbundesamt sind diese negativen Wirkungen jedoch ausgeschlossen: "Um Schädigungen zu vermeiden, sind auch für die Außenluft vorsorglich Grenzwerte für Kohlenmonoxid festgelegt worden, diese werden aber nirgendwo in Deutschland auch nur annähernd erreicht. Eine negative Beeinflussung der Gesundheit ist auszuschließen" [UBA 2009A]. Kohlenmonoxid wird daher im Rahmen dieser Arbeit bei der Ermittlung externer Kosten nicht weiter berücksichtigt.

Unter dem Begriff **Stickstoffoxide (NOX)** werden alle gasförmigen Verbindungen aus Stickstoff und Sauerstoff zusammengefasst. Stickstoffoxide entstehen

⁴³ Ost- und Westdeutschland für den gesamten Zeitraum

bei Verbrennungsprozessen mit Luft unter hohen Temperaturen. Als straßenverkehrsbedingte Stickstoffoxide treten vor allem Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂) und Distickstoffmonoxid (N₂O) auf. Das besser als Lachgas bekannte Distickstoffmonoxid wird aufgrund seiner Klimawirksamkeit im Kostenbereich "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel" berücksichtigt und an dieser Stelle nicht weiter betrachtet. NO ist ein farbloses giftiges Gas, das allerdings auch vom menschlichen Organismus produziert wird und in diesem in geringen Konzentrationen auf vielfältige Weise positiv fungiert. NO zeichnet sich durch eine kurze Verweildauer in der Atmosphäre aus. Zusammen mit dem in der Luft enthaltenen Sauerstoff reagiert es sehr schnell zu NO₂.

Laut **[WHO 2000: S. 175 F]** beeinträchtigt NO₂ die Lungen-, Milz- und Leberfunktion sowie die Blutbildung bei chronischer Exposition von Mensch und Tier negativ. Aufgrund seiner guten Wasserlöslichkeit wird ein Teil des emittierten NO₂ in Salpetersäure (HNO₃) umgewandelt. HNO₃ wiederum ist ein Mitverursacher des sauren Regens, der zu Versäuerung von Böden und Gewässern in kalkarmen Gebieten, Nährstoffauswaschungen, Waldsterben und Schäden an Gebäuden führt. Da die Salze von HNO₃ Nitrate sind, können diese laut **[LUBW 2006]** als Feinstaub (Aerosolteilchen) in der Luft bis in tiefere Lungenbereiche eingeatmet werden und dort schädigend wirken. NO₂ zerfällt unter Sonneneinstrahlung wieder in NO und ein Sauerstoffradikal O•. Das Sauerstoffradikal O• wiederum geht mit O₂ eine Verbindung zu Ozon (O₃) ein. Die Wirkungsweise von O₃ ist den Erläuterungen zu Ozon zu entnehmen. Für NO₂ und NO_x gelten in Deutschland nach der **[22. BIMSCHV 2007]** die im Anhang D dargestellten Grenzwerte. Die Einhaltung des ab 2010 für NO₂ geltenden Jahresgrenzwertes wird von Experten als kritisch eingestuft. Das Umweltbundesamt meint dazu: "Bereits heute ist absehbar, dass der ab 2010 geltende NO₂-Jahresgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit an vielen städtischen Luftmessstellen nicht eingehalten werden kann. Mehr als die Hälfte der städtischen verkehrsnahen Luftmessstationen registriert Überschreitungen dieses Wertes" **[UBA 2009B]**. Da der Straßenverkehr nach **[KOCH ET AL. 2005: S. 41]** für ca. 42 % des deutschlandweiten Gesamtausstoßes von NO_x verantwortlich ist und damit als Hauptemittent dieser Schadstoffe gilt, geht der Verfasser davon aus, dass aus der straßenverkehrsbedingten Emission von Stickstoffoxiden externe Kosten resultieren. Diese Schadstoffgruppe wird daher bei der Ermittlung externer Kosten durch Luftverschmutzung in dieser Arbeit berücksichtigt. NO_x werden somit aufgrund ihrer Wirkung als Klimagas (N₂O) und Luftschadstoff (maßgeblich NO₂) in den Kostenbereichen "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel" und "Kosten durch Luftverschmutzung" betrachtet. Es ist festzuhalten, dass damit keine Doppelbewertung einer Wirkung vorgenommen wird, sondern zwei unterschiedliche Wirkungen getrennt voneinander bewertet werden.

Schwefeldioxid entsteht durch Oxidation des in fossilen Energieträgern enthaltenen Schwefels bei deren Verbrennung. Schwefeldioxid wirkt laut [WHO 2006] reizend auf Schleimhäute und kann chronische Atemwegserkrankungen zur Folge haben. Weiterhin stellt [HLUG 2009] eine schädigende Wirkung für verschiedene Materialien und Pflanzen fest. Durch weitere Oxidationsprozesse und eine gute Wasserlöslichkeit wird SO_2 in Schwefelsäure (H_2SO_4) umgewandelt, welches gemeinsam mit dem bereits erwähnten HNO_3 als Hauptverursacher des sauren Regens gilt. Die Salze von H_2SO_4 sind zwar im Gegensatz zu denen von HNO_3 Sulfate, diese sind aber laut [LUBW 2006] als Aerosolteilchen ebenfalls lungengängig und können als Feinstaub schädigend wirken. Durch den Einsatz nahezu schwefelfreier Kraftstoffe stellt [RADKE 2007] eine Reduktion des Beitrags des Straßenverkehrs an der Gesamtemission von SO_2 in Deutschland in den vergangenen 20 Jahren auf 0,35 % im Jahr 2005 fest. Daher wird für diese Arbeit angenommen, dass der Beitrag des Straßenverkehrs an den schädigenden Wirkungen von SO_2 vernachlässigbar klein ist. SO_2 wird bei der Ermittlung der externen Kosten in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt. Die nach [22. BIMSCHV 2007] geltenden Immissionsgrenzwerte "werden in Deutschland weit unterschritten" [UBA 2009C] und daher hier nicht dargestellt.

Mit dem Begriff **Feinstaub oder Particulate Matter (PM)** wird eine Vielzahl unterschiedlicher Feststoffteilchen zusammengefasst, die aufgrund ihrer geringen Größe und Masse nicht direkt zu Boden sinken, sondern für eine gewisse Zeit als Schwebstoffe in der Atmosphäre verweilen. In Abhängigkeit vom aerodynamischen Durchmesser der Partikel werden sie bestimmten Fraktionen zugeordnet. Dem Feinstaub werden üblicherweise Partikel mit der Korngröße $\leq 10 \mu\text{m}$ zugerechnet (PM_{10}). Aufgrund neuerer Forschungsergebnisse zur Wirkung von Feinstaub gewinnen die Fraktionen $\text{PM}_{2,5}$, PM_1 (Feinstaub) und $\text{PM}_{0,1}$ (Ultrafeinstaub) zunehmend an Bedeutung. Feinstaub dringt in Abhängigkeit von der Partikelgröße bis in verschiedene Teile des Respirationstraktes vor. Insbesondere sehr tief vordringende Teilchen gelten als schadhaft, da sie nicht wieder ausgeatmet werden, sondern im Organismus verbleiben und Atemwegserkrankungen nach sich ziehen. Die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz des Landes Baden-Württemberg schreibt dazu "Partikel mit einer Größe von $10 \mu\text{m}$ werden zu etwa 50 Prozent im Tracheobronchialbereich, also in der Luftröhre und den Bronchien, abgelagert. Mit weiter abnehmender Größe der Partikel nimmt der Anteil zu, der bis in die Alveolen - das sind die Lungenbläschen - gelangt. Neuere Untersuchungen im Tierexperiment geben Hinweise darauf, dass bereits Partikel von $1 \mu\text{m}$ und ultrafeine Partikel kleiner $0,1 \mu\text{m}$ (100 nm) die Wand der Alveolenbläschen durchdringen und so in das Blut gelangen. Partikel bis zu einer Größe von $1 \mu\text{m}$ werden von den roten Blutkörperchen aufgenommen" [LBUW 2009]. Weiterhin besitzen Partikel der Korngrö-

$\leq 2,5 \mu\text{m}$ eine vielfach größere Oberfläche als die gleiche Masse PM_{10} . Aufgrund ihrer Oberflächenstruktur und chemischen Beschaffenheit können sich an Partikeln des Feinstaubes andere Schadstoffe ablagern. Kleinere Partikel gelten demnach als schadhafter, da sie länger in der Luft verbleiben (aufgrund ihrer geringeren Masse), tiefer in den Respirationstrakt eindringen und im Verhältnis zu ihrer Masse eine größere Oberfläche aufweisen als Partikel größerer Korngröße. Hinsichtlich der durch Feinstaub verursachten Krankheiten existiert eine Vielzahl von Untersuchungen, die von **[BLEI 2008]** auszugsweise dargestellt werden. Im Vordergrund stehen Erkrankungen des Respirationstraktes und kardiovaskuläre Krankheitsbilder. Im Zusammenhang mit Straßenverkehr entstehen Feinstäube bei der Verbrennung von Kraftstoffen, aber auch durch den Abrieb von Bremsen, Reifen, Kupplung und der Fahrbahn. Die motorbedingten Partikel werden zum überwiegenden Teil von dieselbetriebenen Fahrzeugen erzeugt. Bleistäube sind durch die Verwendung von bleifreiem Benzin, das ohne Beimengen von Tetraethylblei hergestellt wird, nahezu ohne Relevanz. Insgesamt stellt **[WICHMANN 2003]** fest, dass Feinstäube trotz des in den vergangenen Jahren verstärkten Einsatzes von Partikelfiltern weiterhin schädigend auf die Gesundheit von Menschen und Tieren wirken, da die verwendeten Filter hauptsächlich größere Partikel aus der Abgasluft entfernen. Das Umweltbundesamt stellt in diesem Zusammenhang klar, "dass sich die Feinstaubbelastung in Deutschland nicht nachweisbar verringert, sondern lediglich witterungsbedingt von Jahr zu Jahr schwankt" **[UBA 2009D]**. Die **[22. BIMSCHV]** beinhaltet die im Anhang D dargestellten gesetzlichen Grenzwerte für Feinstaub in Deutschland. Wie der Messwertdatenbank des Umweltbundesamtes **[UBA 2009E]** zu entnehmen ist, wurden die 24-Stundengrenzwerte im Jahr 2009 an einer Vielzahl von Messstationen an mehr als den zulässigen 35 Tagen überschritten.

Auch vor dem Hintergrund, dass nach **[KOM 1999B]** ab 2010 nur noch sieben Überschreitungen des 24-Stundengrenzwertes im Kalenderjahr zulässig sind, der Jahresgrenzwert auf $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} abgesenkt wird und für die ebenfalls im Anhang D angegebenen Grenzwerte nach **[WHO 2006]**, die auf der Basis von Auswertungen epidemiologischer Studien zur Wirkung von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit aufgestellt wurden, keine Überschreitungen zulässig sind, muss davon ausgegangen werden, dass die aktuellen Emissionen von Feinstaub schadhafte Wirkungen nach sich ziehen. Das Umweltbundesamt schätzt in der Veröffentlichung **[UBA 2005]**, dass im Jahr 2002 ca. 34.800.000 t Feinstaub durch Verbrennungsprozesse im Verkehrsbereich, 7.000.000 t durch Reifen- und 5.500.000 t bis 8.500.000 t Feinstaub durch Bremsabrieb emittiert wurden. Bezogen auf die gesamten Emissionen in Höhe von 134.600.000 t Feinstaub ist festzuhalten, dass der Verkehrssektor zu den Hauptemittenten dieses Schadstoffs zählt. Straßenverkehrsbedingte Emissionen von Feinstäuben

werden daher im Rahmen dieser Arbeit bei der Ermittlung der externen Kosten berücksichtigt.

Flüchtige organische Verbindungen (VOC) umfassen vielfältige chemische Verbindungen auf Kohlenstoffbasis und sind durch §2 der **[31. BIMSCHV 2004]** definiert. In einigen wenigen Studien zu externen Kosten werden statt VOC Kohlenwasserstoffe (HC) betrachtet, die eine Untergruppe der VOC darstellen. Unabhängig davon wird Methan häufig aus den Betrachtungen ausgeschlossen, da es sich hierbei um ein Klimagas handelt. Dieser Betrachtungsweise wird in der vorliegenden Arbeit entsprochen; die verbleibenden nicht-methanhaltigen flüchtigen organischen Verbindungen werden als NMVOC bezeichnet. Im Zusammenhang mit Straßenverkehr werden hauptsächlich die NMVOC Benzol, Toluol und Xylol emittiert, die sowohl bei der Verbrennung von Kraftstoffen als auch bei der Betankung von Fahrzeugen aufgrund ihrer flüchtigen Eigenschaften freigesetzt werden. NMVOC zeichnen sich laut **[ÖAW 1996]** durch verschiedene schadhafte Wirkungen auf Menschen aus, die von toxisch bis kanzerogen reichen. Darüber hinaus sind schadhafte Wirkungen auf das Wachstum von Pflanzen bekannt. Des Weiteren sind NMVOC ebenso wie NO_x Vorläuferschadstoffe von Ozon. Bislang sind jedoch einzig für Benzol durch die **[22. BIMSCHV 2007]** gesetzliche Immissionsgrenzwerte festgeschrieben, die im Anhang D dargestellt sind. Da straßenverkehrsbedingte Emissionen von NMVOC aufgrund verschärfter Regelungen der **[21. BIMSCHV 2002]** hinsichtlich ihrer Rückführung bei der Betankung von Fahrzeugen mittlerweile schätzungsweise nur noch 10 % der Gesamtemissionen dieser Schadstoffe ausmachen und **[SCHMID 2005]** im Rahmen der von ihm durchgeführten Berechnung straßenverkehrsbedingter externer Kosten festgestellt hat, dass der Anteil der externen Kosten durch freigesetzte NMVOC bezogen auf die aus Luftschadstoffen resultierenden Gesamtkosten bei ca. ein bis zwei Prozent liegt, werden die direkten Folgen der NMVOC-Emissionen bei der Kostenermittlung in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt. Da VOC (inklusive Methan) allerdings zu den Vorläufersubstanzen von Ozon zählen, werden sie im Rahmen der Schadensermittlung durch Ozon betrachtet.

Ozon gilt als sekundärer Schadstoff, da er nicht direkt emittiert wird, sondern durch das Zusammenwirken von Vorläufersubstanzen entsteht. Daher wird Ozon im Zusammenhang mit externen Kosten häufig nicht separat betrachtet, obwohl der in der **[33. BIMSCHV 2004]** festgelegte langfristige Zielwert⁴⁴ laut **[UBA 2009F]** aktuell an vielen Messstellen deutlich überschritten wird. **[KOCH ET AL. 2005: S. 44 UND S. 59]** stellt fest, dass Ozon bodennah negative Folgen für Menschen (Reizungen der Schleimhäute und entzündlichen Reaktionen des

⁴⁴ s. Anhang D

Respirationstraktes) sowie Pflanzen (erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Schädlingen, Störung des Wachstums) hat. Da es sich bei Ozon um einen sekundären Schadstoff handelt und eine quantitative Abschätzung der Menge des straßenverkehrsbedingten Ozons, wie bei [SCHMID 2005] dargestellt, nur über komplexe Transformationsmodelle möglich ist, wird dessen schadhafte Wirkung häufig über die Bewertung von Emissionen der Vorläufersubstanzen NMVOC und NO_x indirekt erfasst. Aufgrund der nach wie vor grenzwertüberschreitenden Belastungssituation mit Ozon wird dieser Schadstoff in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt.

Fazit

Als Folge von Emissionen der zuvor erläuterten Luftschadstoffe treten schadhafte Wirkungen bei Mensch, Fauna und Gebäuden auf. Die daraus resultierenden Kosten bestehen ausschließlich aus externen Kostenbestandteilen im Sinne der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Abgrenzung. Im Weiteren werden die Wirkungen der Schadstoffe Feinstaub, Stickstoffoxide und Ozon berücksichtigt. Die Wirkung anderer Schadstoffe ist, wie gezeigt wurde, vernachlässigbar.

4.4.3 Bewertungsverfahren/Wertegerüst für Wirkungen auf Menschen

4.4.3.1 Vorstellung verschiedener Verfahren

Im Wesentlichen existieren zwei unterschiedliche Verfahren, die aufgrund ihrer Aktualität zur Bewertung schadhafter Wirkungen von Luftschadstoffen herangezogen werden können. Hierbei handelt es sich um den

- Wirkungspfadansatz nach ExternE und den
- Top-Down Ansatz nach [SOMMER ET AL. 1999].

In beiden Verfahren wird die Wirkungskette von der den Schadstoffausstoß erzeugenden Aktivität bis zum Eintritt der resultierenden Schäden modellhaft abgebildet. Beide Verfahren finden in einer Reihe von aktuellen Untersuchungen zu externen Kosten Anwendung. Eine gute Übersicht dazu liefert [MAIBACH ET AL. 2007].

Das Prinzip des Wirkungspfadansatzes ist bereits im Kapitel 4.2.3.1 behandelt worden. Die wichtigsten Berechnungsschritte des Top-Down Ansatzes sind in Abbildung 4-6 dargestellt.

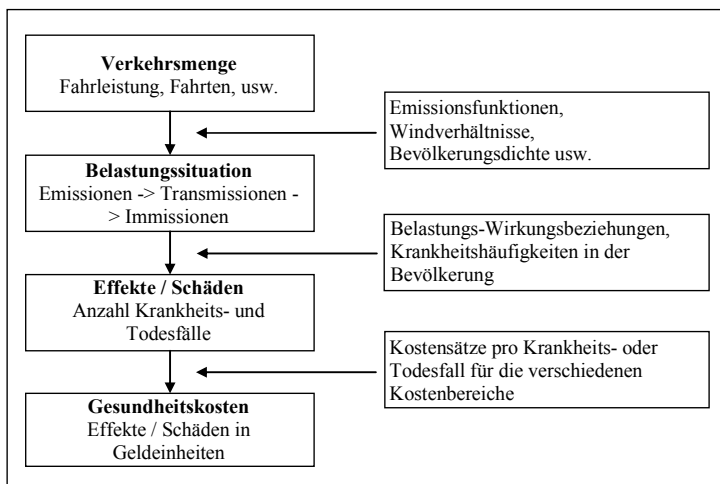


Abbildung 4-6: Wichtigste Berechnungsschritte des Top-Down Ansatzes, nach [Sommer et al. 2004a]

Die grundsätzliche Vorgehensweise zur Ermittlung der Schäden ist in beiden Verfahren identisch:

Zur Ermittlung der Emissionen wird i. d. R. auf die von [KELLER ET AL. 2004] angegebenen Emissionsfaktoren der betrachteten Schadstoffe zurückgegriffen. Darauf aufbauend wird im zweiten Schritt die räumliche Ausbreitung und Verteilung der emittierten Schadstoffe unter Anwendung komplexer Modelle und unter Berücksichtigung der meteorologischen Gegebenheiten und der Bevölkerungsverteilung berechnet. Dabei wird häufig zwischen dem Nah- und Fernbereich in Bezug zur Schadstoffquelle (Nahbereich: bis 20 – 25 km von der Linienquelle entfernt, Fernbereich: darüber hinaus, bis zu mehreren 100 km) unterschieden. Über Dosis-Wirkungsbeziehungen oder Belastungs-Wirkungsbeziehungen, die unterschiedlichen Studien der vergangenen 20 Jahre entnommen sind, werden die erzeugten physischen Schäden (Endpunkte) quantifiziert. Die zur monetären Bewertung der Schäden herangezogenen Kostensätze können bei beiden Ansätzen auf unterschiedlichen Bewertungsverfahren basieren. Weder der Wirkungspfadansatz noch der Top-Down Ansatz nach [SOMMER ET AL. 1999] ist daher einem bestimmten Bewertungsverfahren zugeordnet. I. d. R. werden Kostensätze zur Anwendung gebracht, die aus der Kombination des Schadenskostenansatzes mit dem Zahlungsbereitschaftsverfahren resultieren.

Wesentliche Unterschiede der beiden Verfahren bestehen hinsichtlich der Kostenrechnungsart sowie der betrachteten Schadstoffe bzw. verwendeten Dosis-Wirkungsbeziehungen. Während beim Wirkungspfadansatz aufgrund des damit verbundenen Bottom-Up Prinzips vordergründig Grenzemissionen und -kosten

errechnet werden, die durch ein zusätzliches Fahrzeug erzeugt werden⁴⁵, erlauben Top-Down Ansätze generell nur die Ermittlung von Gesamt- bzw. Durchschnittskosten. Der Top-Down Ansatz nach **[SOMMER ET AL. 1999]** konzentriert sich auf den Schadstoff PM₁₀, der als Leitschadstoff fungiert. Dabei wird berücksichtigt, dass die verschiedenen Luftschadstoffe z. T. identische Wirkungen haben und eine nach Schadstoffen getrennte, quantitative Ermittlung dieser Wirkungen nur bedingt möglich ist. PM₁₀ eignet sich besonders gut als Leitschadstoff, da "sich in den vergangenen zehn Jahren herausgeschält [hat], dass viele Symptome die höchsten Korrelationen mit dem Feinstaub, PM₁₀ und PM_{2,5}, haben" **[SOMMER ET AL. 2004A: S. 10]**. Obschon hauptsächlich dem Feinstaub mit Korngrößen $\leq 2,5 \mu\text{m}$ schadhafte Wirkungen zugeschrieben werden⁴⁶, wird PM₁₀ in nahezu allen Untersuchungen als Leitschadstoff verwendet, da für ihn bessere Kenntnisse hinsichtlich der Emissionswerte, Ausbreitungsmodelle und Dosis-Wirkungsbeziehungen vorliegen. Als Endpunkte der Dosis-Wirkungsbeziehungen werden Erwartungswerte zusätzlicher Todesfälle bzw. Erkrankungen pro 1.000.000 betroffenen Personen angegeben. Die betrachteten Endpunkte sind dabei voneinander weitgehend unabhängig. Bei Anwendung des Wirkungspfadansatzes werden hingegen unterschiedliche Schadstoffe mit zugehörigen Dosis-Wirkungsbeziehungen betrachtet. Im Ergebnis führt diese Vorgehensweise dazu, dass für einen Endpunkt sowohl eine Dosis-Wirkungsbeziehung für Schadstoff A als auch für Schadstoff B vorliegen kann. So ergeben sich bspw. bei **[SCHMID 2005]** jeweils aus der Belastung mit SO₂, PM_{2,5} und O₃ zusätzliche Fälle von Erkrankungen der Atemwege. Wird die Gesamtanzahl der zusätzlichen Atemwegserkrankungen durch Summation der zusätzlichen Fälle durch SO₂, PM_{2,5} und O₃ ermittelt, kann aus Sicht des Verfassers der vorliegenden Arbeit nicht ausgeschlossen werden, dass die Gesamtanzahl überschätzt wird, da die Dosis-Wirkungsbeziehungen aus unterschiedlichen Forschungsprojekten und epidemiologischen Studien zusammengetragen wurden. Es muss vielmehr davon ausgegangen werden, dass über die Dosis-Wirkungsbeziehung für bspw. PM_{2,5} bereits Einflüsse der beiden anderen Schadstoffe mit abgebildet werden.

Neben diesen Unterschieden zwischen dem Wirkungspfadansatz und dem Top-Down Ansatz gibt es auch innerhalb der beiden Ansätze Abweichungen hinsichtlich der betrachteten (Leit-)Schadstoffe, dem verwendeten Ausbreitungs- und Verteilungsmodell, den untersuchten Schadenswirkungen bzw. den hinzugezogenen Dosis-Wirkungsbeziehungen und dem Bewertungsverfahren, auf dessen

⁴⁵ s. Erläuterungen im Kapitel 4.2.3.1

⁴⁶ s. Kapitel 4.4.2

Basis die Kostensätze ermittelt werden. Diese internen Unterschiede resultieren aus der kontinuierlichen Weiterentwicklung der beiden Ansätze.

4.4.3.2 Gewählte Bewertungsmethodik

Für die vorliegende Arbeit wird der Top-Down Ansatz nach [SOMMER ET AL. 1999] zur Anwendung gebracht. Hinsichtlich des Wirkungspfadansatzes wird von einer Überschätzung der negativen Wirkungen ausgegangen. Dagegen zeichnet sich der Top-Down Ansatz durch eine aus Verursachersicht günstigere Abschätzung der Schäden aus und erfüllt damit besser die Festlegungen dieser Arbeit. Durch die Verwendung von PM₁₀ als Leitschadstoff werden die gesundheitlichen Wirkungen anderer Luftschadstoffe (hier: NO_x, O₃) mit berücksichtigt. Die Dosis-Wirkungsbeziehungen werden aus [SOMMER ET AL. 2004A] übernommen (s. Tabelle 4-19), da in dieser Studie die derzeit aktuellsten Daten im Zusammenhang mit dem Top-Down Ansatz zu finden sind.

Tabelle 4-19: Dosis-Wirkungsbeziehungen mit berücksichtigten Endpunkten und zusätzlichen Fällen pro 10 µg/m³ PM₁₀ und 1.000.000 betroffener Einwohner, nach [Sommer et al. 2004a]

Gesundheitseffekt/Endpunkt	Zusätzliche Fälle pro 10 µg/m ³ PM ₁₀ und 1.000.000 betroffener Einwohner
Langzeitmortalität (> 29 Jahre)	440
Säuglingssterblichkeit (0 – 1 Jahre)	3
Krankenhaustage wegen Atemwegserkrankungen	700
Krankenhaustage wegen Herz-/ Kreislauferkrankungen	1.170
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen (> 25 Jahre)	120
Akute Bronchitis bei Kindern (< 15 Jahre)	4.790
Asthmaanfälle bei Erwachsenen (> 14 Jahre)	4.860
Tage mit eingeschränkter Aktivität (> 19 Jahre)	209.540

Der Ansatz wird im Vergleich zu den bisherigen Anwendungsfällen modifiziert. Diese Modifikation betrifft vor allem die Wahl des Ausbreitungs- und Verteilungsmodells sowie die Berechnungsgrundlage der Kostensätze. Während sich die Ausführungen zu den Kostensätzen direkt anschließen, ist das Ausbreitungs- und Verteilungsmodell im Kapitel 4.4.6.1 erläutert.

Die in Tabelle 4-19 dargestellten Endpunkte werden entsprechend den methodischen Festlegungen mit auf dem Schadenskostenansatz basierenden Kostensätzen monetär bewertet. Da die von [SOMMER ET AL. 2004A] verwendeten Kostensätze z. T. auf Zahlungsbereitschaftsverfahren basieren, werden sie nicht für diese Arbeit genutzt. Zwar sind in [SOMMER ET AL. 2004A] auch alternative Kostensätze angegeben, die sich aus der Anwendung des Schadenskostenan-

satzes ergeben, jedoch entspräche der Einsatz dieser Kostensätze nicht dem Grundsatz, in der gesamten Berechnungsmethodik einheitliche bzw. zueinander widerspruchsfreie Kostensätze zu verwenden.

Daher werden im Folgenden neue Kostensätze eigenständig berechnet. Entsprechend dem Vorgehen zur Ermittlung von Kostensätzen der Kostenbereiche "Unfallkosten" und "Lärmkosten" basieren die Berechnungen im Wesentlichen auf der Krankheitskostenberechnung des Statistischen Bundesamtes [**DESTA-TIS 2008B**], der Gesundheitsberichtserstattung des Bundes [**GBE 2009**] und der Untersuchung von [**BAUM, HÖHNSCHIED 1999**]. Können diesen Quellen keine detaillierten Daten entnommen werden, wird auf Kostensätze von [**SOMMER ET AL. 2004A**] zurückgegriffen.

Insgesamt wird zwischen Endpunkten mit tödlichem Ausgang, Endpunkten mit Krankenhausaufenthalt und sonstigen Endpunkten unterschieden. Um eine Doppelbewertung zu vermeiden, fließen bei der Ermittlung der Kostensätze für Endpunkte mit tödlichem Ausgang nur solche Kostenkomponenten ein, die direkt mit dem Todesfall in Zusammenhang stehen. Eventuell im Vorfeld des Todesfalls entstehende Kosten, die sich bspw. aus einem vorangehenden stationären Aufenthalt in einem Krankenhaus ergeben, werden bei der Ermittlung der Kostensätze für Endpunkte mit Krankenhausaufenthalt berücksichtigt.

Endpunkte mit tödlichem Ausgang:

Der Endpunkt Langzeitmortalität umfasst nach [**SOMMER ET AL. 2004A**] zusätzliche Todesfälle von Personen älter als 29 Jahre vor allem infolge von Atemwegs- und Herz-/Kreislaufkrankungen sowie infolge von Lungenkrebs. Der Endpunkt Säuglingssterblichkeit beschreibt zusätzliche Todesfälle von Kindern im Alter zwischen null und einem Jahr aufgrund von Atemwegserkrankungen und plötzlichem Kindstod. In [**SOMMER ET AL. 2004A**] werden außerdem für den Endpunkt Lungenkrebsmortalität zusätzliche Fälle aufgrund erhöhter PM₁₀-Belastungen ausgewiesen. Dieser Wert hat allerdings nachrichtlichen Charakter, da diese zusätzlichen Fälle bereits im Rahmen des Endpunktes Langzeitmortalität quantitativ erfasst werden. Auf eine Darstellung dieses Endpunktes wird in Tabelle 4-19 verzichtet, um Unsicherheiten zu vermeiden.

Die Kostensätze beinhalten in Anlehnung an [**BAUM, HÖHNSCHIED 1999**] die Kostenkomponenten Ressourcenausfallkosten, humanitäre Kosten, außermärkliche Kosten, Neubesetzungskosten und Bestattungskosten. In Tabelle 4-20 sind die nach [**DESTATIS 2008B**] und [**GBE 2009**] im Jahr 2004 durch Mortalität verlorenen Erwerbstätigkeitsjahre⁴⁷ und die endpunktbezogene Anzahl der To-

⁴⁷ [DESTATIS 2008b] berücksichtigt bei der Ermittlung der verlorenen Erwerbstätigkeitsjahre Personen zwischen 15 und 64 Jahren. In der vorliegenden Arbeit wurden diese Angaben auf die betrachtete Bevölkerungsgruppe (Personen älter 29 Jahre) angepasst.

desfälle von Personen älter als 29 Jahre sowie die sich daraus ergebenden verlorenen Erwerbstätigkeitsjahre pro Todesfall für die mit den Endpunkten Langzeitmortalität verbundenen Krankheiten dargestellt.

Tabelle 4-20: Verlorene Erwerbstätigkeitsjahre, Todesfälle und verlorene Erwerbstätigkeitsjahre pro Todesfall für den Endpunkt Langzeitmortalität, eigene Berechnungen nach Daten von [DESTATIS 2008b] und [GBE 2009]

Krankheit	Verlorene Erwerbstätigkeitsjahre von Personen der Altersgruppe 15 – 64 Jahre [a]	Todesfälle in der Altersgruppe > 29 Jahre	Verlorene Erwerbstätigkeitsjahre pro Todesfall der Altersgruppe > 29 Jahre [a]
Herz-/Kreislauf- erkrankungen	179.833	367.868	0,49
Atemwegs- erkrankungen	24.611	52.303	0,47
Lungenkrebs	59.490	39.820	1,49
Summe bzw. arithmetischer Mittelwert	263.934	459.991	0,57

Die Ressourcenausfallkosten pro Jahr betragen zum Preisstand 2004 33.442 €⁴⁸. Damit ergibt sich pro zusätzlichem Fall des Endpunktes Langzeitmortalität ein Kostensatz in Höhe von 19.062 €.

Der Endpunkt Säuglingssterblichkeit zieht pro Todesfall 50 Jahre verlorener Erwerbstätigkeit nach sich⁴⁹. Daraus resultieren 1.050.868 € Ressourcenausfallkosten pro Todesfall⁵⁰.

Zur Ermittlung der humanitären Kosten eines Todesfalls werden, wie bereits im Kostenbereich "Lärmkosten", entsprechende Wertansätze aus [BAUM, HÖHNSCHEID 1999] herangezogen. [BAUM, HÖHNSCHEID 1999] gibt die humanitären Kosten infolge einer im Straßenverkehr getöteten Person auf der Grundlage von Schmerzensgeldurteilen mit 6.500 DM bzw. 3.323 € zum Preisstand 1994 an. Wie bereits erläutert, erscheint es dem Verfasser zulässig, diesen Kostensatz zur Bewertung der humanitären Folgen anderweitiger Todesfälle zu übertragen. Zum Preisstand 2004 ergeben sich demnach die humanitären Kosten für die Endpunkte Langzeitmortalität und Säuglingssterblichkeit jeweils zu 3.937 €.

Die außermärklichen Kosten (Ausfälle in der Schattenwirtschaft und der Hausarbeit) werden ebenfalls wie für den Kostenbereich "Lärmkosten" in Anlehnung an [BAUM, HÖHNSCHEID 1999] bestimmt. Es ergeben sich 3.860 € außer-

⁴⁸ s. Kapitel 4.2.3.2

⁴⁹ Unter der Annahme, dass Personen zwischen dem 15. und 64. Lebensjahr im erwerbsfähigen Alter sind.

⁵⁰ Bei einer Diskontrate von 2 %.

marktliche schattenwirtschaftliche Kosten pro Ausfalljahr für das Jahr 2004⁵¹. Für den Endpunkt Langzeitmortalität beträgt dieser Anteil der außermärklichen Kosten dann 2.239 € pro Todesfall, für den Endpunkt Säuglingssterblichkeit 121.295 €. Die außermärklichen Kosten durch Ausfälle bei der Hausarbeit ergeben sich durch Multiplikation der jährlichen haushaltlichen Wertschöpfung (8.331 € zum Preisstand 2004)⁵² mit den Ausfalljahren. Für den Endpunkt Langzeitmortalität werden die Ausfalljahre durch die drei betrachteten Krankheiten unter Verwendung von Angaben zur Altersverteilung der Todesfälle und den **[GBE 2009]** entnommenen voraussichtlichen Restlebenserwartungen pro Altersgruppe zu 4.476.884 Jahren ermittelt⁵³. Bei insgesamt 459.990 Todesfällen ergibt sich somit eine Ausfallzeit von 9,7 Jahren pro Todesfall. Die außermärklichen Kosten durch Ausfälle bei der Hausarbeit betragen damit 72.798 € pro Todesfall. Für den Endpunkt Säuglingssterblichkeit resultieren unter Berücksichtigung der von **[GBE 2009]** ermittelten durchschnittlichen Restlebenserwartung von 78,7 Jahren für die Altersgruppe ≤ 1 Jahre und der vereinfachenden Annahme, dass erst ab einem Alter von 15 Jahren mit einem Beitrag zur Hausarbeit zu rechnen ist, 64,7 Ausfalljahre pro Todesfall. Nach Multiplikation der Ausfalljahre pro Todesfall mit dem Wertansatz der jährlichen haushaltlichen Wertschöpfung ergeben sich außermärkliche Kosten durch Ausfälle bei der Hausarbeit in Höhe von 300.876 € pro Todesfall.

Die Kostensätze für Neubesetzung und Bestattung werden von **[BAUM, HÖHN-SCHIED 1999]** übernommen und zum Preisstand 2004 angegeben⁵⁴. Da für Säuglinge keine Neubesetzungskosten beim Arbeitgeber anfallen, wird der entsprechende Kostensatz nur für den Endpunkt Langzeitmortalität angesetzt.

Tabelle 4-21 gibt einen abschließenden Überblick über die Höhe der einzelnen Kostenkomponenten der beiden Endpunkte und beinhaltet als Summe den jeweiligen Kostensatz.

⁵¹ s. Kapitel 4.2.3.2

⁵² s. Kapitel 4.2.3.2, es werden nur Ausfalljahre von Personen > 29 Jahre berücksichtigt.

⁵³ s. Anhang D

⁵⁴ s. Kapitel 4.2.3.2

Tabelle 4-21: Zusammenstellung der Kostensätze für die Endpunkte Langzeitmortalität und Säuglingssterblichkeit, eigene Berechnungen

Kostenkomponente	Kostensatz [€/Fall Langzeitmortalität] 2004	Kostensatz [€/Fall Säuglingssterblichkeit] 2004
Ressourcenausfallkosten	19.062	1.050.868
Humanitäre Kosten	3.937	3.937
Außermarktliche Kosten	75.037	422.171
Neubesetzungskosten	3.296	-
Bestattungskosten	823	823
Summe	102.155	1.477.799

Endpunkte mit Krankenhausaufenthalt:

Die Kostensätze zur Bewertung von Endpunkten mit Krankenhausaufenthalt setzen sich aus den Kosten stationärer Einrichtungen, Ressourcenausfallkosten, humanitären Kosten und außermarktlichen Kosten zusammen. Sie werden jeweils bezogen auf einen Tag Krankenhausaufenthalt angegeben.

Die Kosten stationärer Einrichtungen werden **[DESTATIS 2008B]** entnommen und betragen für 2004 14.736.000.000 € für Herz-/Kreislauferkrankungen und 3.599.000.000 € für Atemwegserkrankungen. **[GBE 2009]** gibt für das Jahr 2004 an, dass ein durchschnittlicher Krankenhausaufenthalt 9,0 Tage bzw. 7,9 Tage dauert und insgesamt 2.652.782 Fälle bzw. 1.042.040 Fälle stationär behandelt werden (jeweils Herz-/Kreislauferkrankungen bzw. Atemwegserkrankungen). Daraus folgen Kosten in Höhe von 617 € bzw. 437 € pro Tag Krankenhausaufenthalt.

Zur Ermittlung der Ressourcenausfallkosten werden die Angaben zu verlorenen Erwerbstätigkeitsjahren aus **[DESTATIS 2008B]** näher analysiert. Die Gesamtanzahl der für Herz-/Kreislauf- und Atemwegserkrankungen angegebenen 392.000 bzw. 243.000 Jahre teilen sich auf die Ursachen Mortalität (191.000 bzw. 27.000 Jahre), Invalidität (112.000 bzw. 23.000 Jahre) und Arbeitsunfähigkeit (90.000 bzw. 193.000 Jahre) auf. Da die verlorenen Erwerbstätigkeitsjahre durch Mortalität bereits in die Berechnung der Ressourcenausfallkosten der Endpunkte mit tödlichem Ausgang einbezogen werden, entfällt ihre Berücksichtigung an dieser Stelle. Unter der Annahme, dass Invalidität nur infolge schwerwiegender Krankheitsfälle, zu deren Verlauf ein Krankenhausaufenthalt zählt, auftritt, werden die verlorenen Erwerbstätigkeitsjahre aus Invalidität in die Berechnung der Ressourcenausfallkosten der Endpunkte mit Krankenhausaufenthalt einbezogen. Hinsichtlich der Ausfallzeiten durch Arbeitsunfähigkeit ist eine derart pauschale Abschätzung nicht möglich. Diese Verlustzeiten ergeben sich infolge von stationär und ambulant behandelten sowie unbehandelten Fällen der jeweiligen Krankheiten. Die verlorenen Erwerbstätigkeitsjahre aus Arbeitsunfähigkeit werden daher für die Endpunkte mit Krankenhausaufenthalt neu berech-

net. Dazu werden nur erkrankte Personen betrachtet, die dem Arbeitsprozess potenziell zur Verfügung stehen⁵⁵. In dieser Gruppe waren laut **[GBE 2009]** im Jahr 2004 916.604 bzw. 413.784 Krankenhausaufenthalte infolge von Herz/Kreislauf- sowie Atemwegserkrankungen zu verzeichnen. Multipliziert mit den durchschnittlichen Aufenthaltsdauern und unter der Annahme, dass ein Patient nach einem Krankenhausaufenthalt sich noch so lange zu Hause erholen muss, wie er im Krankenhaus war⁵⁶, ergeben sich 45.202 bzw. 17.912 verlorene Erwerbstätigkeitsjahre durch Arbeitsunfähigkeit. Zusammen mit den verlorenen Erwerbstätigkeitsjahren aus Invalidität resultieren für Krankenhausaufenthalte infolge von Herz-Kreislauferkrankungen insgesamt 157.202 Ausfalljahre, während für Atemwegserkrankungen 40.912 Jahre für 2004 zu verzeichnen sind. Bezogen auf die Gesamtanzahl der Fälle und die durchschnittliche Aufenthaltsdauer im Krankenhaus sowie unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Ressourcenausfallkosten pro Jahr (33.442 €)⁵⁷ ergeben sich 0,007 bzw. 0,005 Ausfalljahre oder 220 bzw. 166 € Ressourcenausfallkosten pro Tag Krankenhausaufenthalt.

Zur Ermittlung der humanitären Kosten wird angenommen, dass ein Krankenhausaufenthalt im Zusammenhang mit Herz-/Kreislauf- oder Atemwegserkrankungen mit einer schweren Verletzung infolge eines Verkehrsunfalls vergleichbar ist⁵⁸. Der entsprechende Kostensatz wird von **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** übernommen und beträgt zum Preisstand 2004 29.290 €. Umgerechnet auf den einzelnen Krankentag ergeben sich 3.254 € für Herz-/Kreislauferkrankungen sowie 3.708 € für Atemwegserkrankungen. Diese Kostensätze leiten sich aus Schmerzensgeldzahlungen ab und berücksichtigen damit auch mögliche langfristige Wirkungen der mit dem Krankenhausaufenthalt verbundenen Krankheiten. Die Kostensätze dominieren daher die Gesamtkostensätze für Krankenhausaufenthalte.

Die beiden Bestandteile außermärklicher Kosten werden abermals getrennt ermittelt:

Schattenwirtschaftliche außermärkliche Kosten lassen sich durch Multiplikation der bei der Kostenkomponente Ressourcenausfallkosten errechneten durchschnittlichen Ausfalljahre pro Krankenhausaufenthalt mit dem entsprechenden

⁵⁵ Dazu zählen nach [DESTATIS 2008b] Personen der Altersgruppe 15 – 64 Jahre.

⁵⁶ Eine ausführlichere Diskussion zu dieser Annahme ist bei [Sommer et al. 2004a: S. 93] dokumentiert.

⁵⁷ s. Kapitel 4.2.3.2

⁵⁸ Diese Annahme lässt sich nicht verifizieren, da laut [Hacks et al 2007] und [Slizyk 2006] keine Schmerzensgeldurteile für Krankenhausaufenthalte im Zusammenhang mit Herz-/Kreislauf- bzw. Atemwegserkrankungen vorliegen. Da mit einer schweren Verletzung infolge eines Verkehrsunfalls laut Definition ebenfalls ein Krankenhausaufenthalt verbunden ist, erscheint die getroffene Annahme zulässig.

Wertansatz (3.860 €)⁵⁹ bestimmen und betragen für Herz-/Kreislaufkrankungen 25 €, während sie sich für Atemwegserkrankungen zu 19 € ergeben.

Um außermärkliche Kosten durch Ausfälle bei der Hausarbeit zu ermitteln, müssen neben den erwerbsfähigen Personen außerdem die Gruppen der über 64-Jährigen und unter 15-Jährigen in die Überlegungen mit einbezogen werden. Insgesamt werden Ausfallzeiten durch Arbeitsunfähigkeit und Invalidität berücksichtigt. Für die Altersgruppe "15 – 64 Jahre" werden die Ausfallzeiten durch Arbeitsunfähigkeit aus der Berechnung der Ressourcenausfallkosten übernommen (45.202 bzw. 17.912 Jahre). In der Altersgruppe "0 - 14 Jahre" ergeben sich keine Ausfallzeiten, durch Arbeitsunfähigkeit, da wiederum vorausgesetzt wird, dass von Personen dieser Altersgruppe kein nennenswerter Beitrag zur Hausarbeit geleistet wird. Im Jahr 2004 waren in der Altersgruppe älter als 64 Jahre 1.712.783 bzw. 369.645 Krankenhausaufenthalte in Verbindung mit Herz-/Kreislauf- und Atemwegserkrankungen zu verzeichnen. Unter der Voraussetzung, dass Patienten sich zu Hause die gleiche Zeit erholen müssen, wie sie im Krankenhaus waren, bevor sie die Hausarbeit wieder aufnehmen können, resultieren für diese Altersgruppe 84.466 Ausfalljahre (Herz-/Kreislaufkrankungen) bzw. 16.001 Ausfalljahre (Atemwegserkrankungen) durch Arbeitsunfähigkeit.

Zur Ermittlung der Ausfallzeiten aus Invalidität wird wiederum die Altersverteilung aller Krankenhausaufenthalte herangezogen⁶⁰, aus der sich das durchschnittliche Alter der stationär behandelten Patienten zu 52,8 Jahren (Herz-/ Kreislaufkrankungen) bzw. 41,1 (Atemwegserkrankungen) bestimmen lässt. Unter der Voraussetzung, dass diese Altersverteilung auch für Invalide gilt, fallen pro invalider Person 12,2 (Herz-/Kreislaufkrankungen) bzw. 23,9 (Atemwegserkrankungen) verlorene Erwerbstätigkeitsjahre an. Bei insgesamt 112.000 bzw. 23.000 verlorenen Erwerbstätigkeitsjahren durch Invalidität⁶¹ ergeben sich demnach 9.180 bzw. 962 Invalide. Damit haben 0,54 % (Herz-/Kreislaufkrankungen) bzw. 0,26 % (Atemwegserkrankungen) der Fälle mit Krankenhausaufenthalt eine Invalidität zur Folge. Dieser Prozentsatz wird auf die Altersgruppen "0 - 14 Jahre" und "65 Jahre und älter" übertragen. Die Gesamtanzahl der invaliden Personen und der damit verbundenen Ausfalljahre sind im Anhang D dargestellt. Die potenzielle Resthausarbeitszeit wird vereinfachend mit der Restlebenserwartung nach **[GBE 2009]** gleichgesetzt. Auch bei dieser Berechnung wird berücksichtigt, dass erst ab einem Alter von 15 Jahren mit Beiträgen zur Hausarbeit zu rechnen ist. Insgesamt ergeben sich 247.784 Ausfalljahre

⁵⁹ s. Kapitel 4.2.3.2

⁶⁰ s. Anhang D

⁶¹ s. S. 107

(Herz-/Kreislauferkrankungen) bzw. 95.237 Ausfalljahre (Atemwegserkrankungen) bei der Hausarbeit durch Invalidität.

Die Gesamtzahl der Ausfallzeiten bei der Hausarbeit durch Krankenhausaufenthalte in Zusammenhang mit Herz-/Kreislauf- bzw. Atemwegserkrankungen beträgt somit 377.452 bzw. 129.150 Jahre. Unter Berücksichtigung der Gesamtanzahl der Krankenhausaufenthalte, deren durchschnittlicher Dauer und dem Wertansatz für Ausfälle bei der Hausarbeit errechnen sich die zugehörigen außermärklichen Kosten für Herz-/Kreislauferkrankungen zu 132 € und für Atemwegserkrankungen zu 131 € pro Tag Krankenhausaufenthalt.

In Tabelle 4-22 sind die Beiträge der einzelnen Kostenkomponenten für die Endpunkte mit Krankenhausaufenthalten nochmals zusammengestellt und zu den jeweiligen Gesamtkostensätzen aufsummiert.

Tabelle 4-22: Zusammenstellung der Kostensätze für die Endpunkte Krankenhausaufenthalte infolge von Herz-/Kreislauferkrankungen und Atemwegserkrankungen, eigene Berechnungen

Kostenkomponente	Kostensatz Herz-/ Kreislauferkrankungen [€/Tag Krankenhausaufenthalt] 2004	Kostensatz Atemwegserkrankungen [€/Krankenhausaufenthalt] 2004
Kosten der stationären Behandlung	617	437
Ressourcenausfallkosten	220	166
Humanitäre Kosten	3.254	3.708
Außermärkliche Kosten	157	150
Summe	4.248	4.461

Sonstige Endpunkte:

Die Endpunkte chronische Bronchitis bei Erwachsenen, akute Bronchitis bei Kindern, Asthmaanfälle bei Erwachsenen sowie Tage mit eingeschränkter Aktivität werden als sonstige Endpunkte bezeichnet. Diese Endpunkte zeichnen sich dadurch aus, dass mit ihnen kein Krankenhausaufenthalt verbunden ist und sie nicht tödlich enden. Durch diese Festlegungen werden Doppelbewertungen mit Ausprägungen der zuvor behandelten Endpunkte vermieden.

Die Kostensätze für diese Endpunkte setzen sich aus den Komponenten Kosten ambulanter Einrichtungen, Ressourcenausfallkosten, humanitäre Kosten und außermärkliche Kosten zusammen. Da für einige Kostenkomponenten (insbesondere für die Kosten ambulanter Einrichtungen) wenige bis keine Daten für Deutschland vorliegen, werden ausgesuchte Daten und Kostensätze von **[SOMMER ET AL. 2004A]** zum Preisstand 2004 übernommen, soweit sie auf dem Schadenskostenansatz basieren. Die entsprechenden Kostensätze für die ambulante Behandlung sind in Tabelle 4-23 dargestellt. Die im Vergleich hoch

ausfallenden Kosten für chronische Bronchitis liegen darin begründet, dass von **[SOMMER ET AL. 2004A]** angenommen wird, dass die durchschnittliche Dauer dieser Krankheit 15 Jahre beträgt.

Tabelle 4-23: Zusammenstellung der Kostensätze für sonstige Endpunkte, eigene Berechnungen nach Daten von [Sommer et al. 2004a] und [Baum, Höhnscheid 1999]

	Chronische Bronchitis bei Erwachsenen⁶²	Akute Bronchitis bei Kindern	Asthma-anfälle bei Erwachsenen	Tage mit eingeschränkter Aktivität
Kosten der ambulanten Behandlung [€]	4.405	41	1	-
Ressourcenausfallkosten [€]	1.182	-	92	92
Außermarktliche Kosten (Schattenwirtschaft) [€]	136		11	11
Außermarktliche Kosten (Hausarbeit) [€]	293	-	23	23
Humanitäre Kosten [€]	29.290	999	999	-
Summe	35.306	1.040	1.126	126

In die Berechnung der Ressourcenausfallkosten gehen folgende Annahmen von **[SOMMER ET AL. 2004A]** ein:

- Pro Asthmaanfall und Tag mit eingeschränkter Aktivität ergibt sich jeweils ein verlorener Erwerbstätigkeitstag.
- Pro Fall chronischer Bronchitis und Jahr der Erkrankung ergibt sich jeweils ein verlorener Erwerbstätigkeitstag (bei einer angenommenen Dauer von 15 Jahren ergeben sich somit 15 Tage Ausfalltage).

Damit entfällt die Umrechnung der verlorenen Erwerbstätigkeitsjahre auf die Gesamtheit der vom Endpunkt betroffenen Bevölkerungsgruppe. Für die Ausfallzeiten der Kostenkomponente außermarktliche Kosten wird diese Annahme übernommen. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Wertansätze⁶³ ergeben sich die ebenfalls in Tabelle 4-23 dargestellten Ressourcenausfallkosten und außermarktlichen Kosten.

⁶² Bei einer Diskontrate von 2%.

⁶³ s. Kapitel 4.2.3.2

Auf die Ermittlung humanitärer Kosten für den Endpunkt Tage mit eingeschränkter Aktivität wird verzichtet, da angenommen wird, dass dieser Endpunkt nicht mit Getöteten, Schwerverletzten und Leichtverletzten gleichgesetzt werden kann, für die in **[BAUM, HÖHNSCHIED 1999]** Kostensätze ermittelt wurden. Für den Endpunkt chronische Bronchitis bei Erwachsenen hingegen wird stark vereinfachend angenommen, dass er hinsichtlich der humanitären Kosten mit Schwerverletzten vergleichbar ist, während für die Endpunkte akute Bronchitis bei Kindern und Asthmaanfälle bei Erwachsenen die Kostensätze für Leichtverletzte übernommen werden.⁶⁴

4.4.4 Bewertungsverfahren/Wertegerüst für Wirkungen auf die Vegetation

4.4.4.1 Vorstellung verschiedener Verfahren

Um luftschadstoffbedingte Wirkungen auf die Vegetation zu bewerten, stehen

- die Ansätze nach **[MAIBACH ET AL. 2000]** und **[ROTHENGATTER ET AL. 1999]** sowie
- erneut der Wirkungspfadansatz nach ExterneE

zur Verfügung.

Der Wirkungspfadansatz folgt dabei dem gleichen Prinzip wie bereits im Kapitel 4.4.3 erläutert. Dazu liegen Dosis-Wirkungsbeziehungen für schädigende Wirkungen von SO₂ und Ozon, für die zusätzlich nötige Menge Kalk infolge der Versauerung der Böden sowie für die durch Stickstoffdeposition reduzierte Menge benötigten Düngers vor, die bei **[SCHMID 2005]** dokumentiert sind.

Die Ansätze nach **[MAIBACH ET AL. 2000]** und **[ROTHENGATTER ET AL. 1999]** berücksichtigen hingegen stickstoffbedingte Ernteaufschläge, Waldschäden und ozonbedingte landwirtschaftliche Schäden. Dabei werden im Gegensatz zum Wirkungspfadansatz keine Wirkungsketten modellhaft nachvollzogen. Vielmehr werden die Wirkungen direkt aus den Emissionswerten der betrachteten Schadstoffe ermittelt. Die Bewertung der ozonbedingten Schäden erfolgt über Emissionswerte der Vorläufersubstanzen NO_x und VOC.

⁶⁴ Diese Annahmen lassen sich nicht verifizieren, da laut [Hacks et al 2007] und [Slizyk 2006] keine Schmerzensgeldurteile für die dargestellten Endpunkte vorliegen.

4.4.4.2 Gewählte Bewertungsmethodik

Obwohl der Wirkungspfadansatz durch die Darstellung der gesamten Wirkungskette eine hohe Transparenz besitzt, eignet er sich nicht für die vorliegende Untersuchung, da

- keine relevanten SO₂-Emissionen mehr auf den Straßenverkehr zurückzuführen sind,
- keine Daten über die O₃-Immissionen vorhanden sind und diese aufgrund der komplexen Entstehungsmechanismen dieses Schadstoffs im Rahmen dieser Arbeit nicht ermittelt werden sowie
- keine Daten über die saure Deposition landwirtschaftlich genutzter Böden vorliegen und ebenfalls nicht für die vorliegende Untersuchung berechnet werden können.

Da für die Ansätze nach **[MAIBACH ET AL. 2000]** und **[ROTHENGATTER ET AL. 1999]** alle notwendigen Eingangsdaten verfügbar sind, werden sie in dieser Arbeit zur Anwendung gebracht. Der mit diesem Ansatz verbundene Nachteil hinsichtlich der Abbildung der Wirkungsketten der emittierten Schadstoffe wird dabei in Kauf genommen.

Die Kosten durch stickstoffbedingte Ernteaufschläge lassen sich nach **[MAIBACH ET AL. 2000]** wie folgt berechnen:

$$CL = \alpha \cdot \frac{E}{F} \cdot LP \quad 8$$

mit:	CL	Ertragseinbußen [€]
	E	NO _x -Emissionen [t]
	F	Fläche des Untersuchungsgebiets [km ²]
	LP	Landwirtschaftliche Produktion des Untersuchungsgebiets [€]
	α	0,0037m ² /t

Externe Kosten aus Waldschäden ergeben sich ebenfalls nach **[MAIBACH ET AL. 2000]** über folgende Gleichung:

$$FD = \eta \cdot \frac{E}{F} \cdot WF \cdot PPP \quad 9$$

mit:	FD	Waldschäden [€]
	E	NO _x -Emissionen [t]
	F	Fläche des Untersuchungsgebiets [km ²]
	WF	Waldfläche des Untersuchungsgebiets [km ²]
	η	0,025€/t
	PPP	Kaufkraft zur Berücksichtigung der verschiedenen Verhältnisse der europäischen Länder; für Deutschland 1,091

Die bei **[ROTHENGATTER ET AL. 1999]** vorgeschlagenen Kostensätze zur Ermittlung ozonbedingter landwirtschaftlicher Kosten wurden für das Jahr 2004 angepasst, sind in Tabelle 4-24 dargestellt und beziehen sich auf die beiden Vorläufersubstanzen von O₃, NO_x und VOC.

Tabelle 4-24: Kostensätze für ozonbedingte landwirtschaftliche Kosten zum Preisstand 2004, nach [Rothengatter et al. 1999]

	Spezifische Kosten	
	[€/t NO _x und Jahr]	[€/t VOC und Jahr]
2004	65	79

4.4.5 Bewertungsverfahren/Wertegerüst für Wirkungen auf Gebäude

4.4.5.1 Vorstellung verschiedener Verfahren

Zur Quantifizierung und Monetarisierung dieser Wirkungen stehen im Wesentlichen wiederum zwei Verfahren zur Verfügung, deren Kostensätze unter Anwendung des Schadenskostenansatzes bestimmt werden:

- der Multimethodenansatz nach **[MAUCH 1992]** und **[SCHREYER ET AL. 2004B]** sowie
- der Wirkungspfadansatz nach ExternE

Der Multimethodenansatz ermöglicht durch Kombinationen verschiedener Berechnungsansätze die Ermittlung der Kosten, die Gebäudebesitzer "aufgrund der

Verkehrsbelastung für den Unterhalt und die Reinigung aufwenden müssen" [SCHREYER ET AL. 2004B: S. 5]. Die grundlegende Methodik wurde von [MAUCH 1992] entwickelt und von [SCHREYER ET AL. 2004B] überarbeitet. Die überarbeiteten Ansätze zur Quantifizierung der Wirkungen und zur Ermittlung der Kostensätze sind in Tabelle 4-25 dargestellt.

Tabelle 4-25: Multimethodenansatz, [Schreyer et al. 2004b]

Kostenart	Verkehrsbelastete Gebiete	Nicht verkehrsbelastete Gebiete
Berechnungsansatz 1: Verkürzung der Renovationszyklen	Analyse der Renovations-tätigkeit und Ermittlung der Renovationsquoten an und abseits von Hauptachsen	Es wird davon ausgegangen, dass keine Zusatzkosten entstehen.
Berechnungsansatz 2: Verkürzung der Lebensdauer der Fassade	Analyse des Zusammenhangs zwischen Luftbelastung und Fassadenzustand	
Berechnungsansatz Reinigungskosten	Analyse der Reinigungsfrequenzen an Verkehrshauptachsen im Vergleich zu Nebenstraßen und Ermittlung der Reinigungskostensätze	Es wird davon ausgegangen, dass keine Zusatzkosten entstehen.

Beim Wirkungspfadansatz werden wiederum die Wirkungsketten unterschiedlicher Luftschadstoffe nachgebildet. Dabei wird hauptsächlich der Schadstoff SO₂ und seine Wirkung auf unterschiedliche Materialien mittels Dosis-Wirkungsbeziehungen betrachtet.

4.4.5.2 Gewählte Bewertungsmethodik

Generell ist dem Multimethodenansatz der Vorzug zu geben, da der Wirkungspfadansatz hauptsächlich die Bewertung schadhafter Wirkungen von SO₂ erlaubt. Da allerdings, wie bereits erläutert, kein nennenswerter straßenverkehrsbedingter Ausstoß dieses Schadstoffs mehr zu verzeichnen ist und Gebäudeschäden nach Auffassung von [SCHREYER ET AL. 2004B] auch auf Immissionen anderer Schadstoffe zurückzuführen sind, würden die Gebäudeschäden bei Anwendung des Wirkungspfadansatzes deutlich unterschätzt. Beide Verfahren setzen die Kenntnis umfangreicher Gebäudedaten mit Angabe des Standorts und der Fassadenfläche voraus. Für die vorliegende Arbeit standen keine derartigen Daten zur Verfügung. Dieses generelle Problem ist bereits aus der Untersuchung von [BECKER ET AL. 2002] bekannt. Um dem Anspruch einer mit geringem Aufwand verbundenen Übertragbarkeit der hier entwickelten Methodik gerecht zu werden, war die Ermittlung entsprechender Informationen über eigens

zu diesem Zwecke durchzuführenden Messungen oder Berechnungen nach dem Verfahren von **[ISECKE ET AL. 1991]** ebenfalls nicht zielführend. Die Anwendung der beiden genannten Verfahren ist daher nicht möglich. Aufgrund dieser Randbedingungen erfolgt an dieser Stelle keine Berechnung der externen Kosten aus Gebäudeschäden. Da dennoch festzuhalten ist, dass entsprechende Kosten auftreten, werden sie im Rahmen der Sensitivitätsanalyse über einen pauschalen Ansatz abgeschätzt.

4.4.6 Mengengerüst und Allokationsrechnung

4.4.6.1 Wirkungen auf den Menschen

Als Mengengerüst müssen einwohner-, abschnitts- und fahrzeugklassenbezogene Immissionsdaten des Schadstoffs PM_{10} in $\mu g/m^3$ vorliegen. Zusammen mit den Dosis-Wirkungsbeziehungen werden daraus zusätzliche Fälle der untersuchten Endpunkte ermittelt und mit den berechneten Kostensätzen bewertet. Die Gesamtkosten pro Abschnitt und Fahrzeuggruppe werden abschließend zur fahrleistungsbezogenen Allokation durch die transformierten Gesamtfahrleistungen der jeweiligen Fahrzeugklasse von **[KATHMANN ET AL. 2007]** dividiert.

Zur Ermittlung dieser Immissionsdaten können für den Schadstoff PM_{10} abschnittsfeine Daten aus den Emissionskatastern der Bundesländer entnommen werden. Die fahrzeugklassenbezogene Allokation erfolgt entsprechend dem Vorgehen im Kostenbereich "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel" unter Berücksichtigung des transformierten SV-Anteils und des Verhältnisses der Emissionsfaktoren für PM_{10} nach **[KELLER ET AL. 2004]** für die Verkehrssituation "Autobahndurchschnitt". Danach entspricht – bezogen auf PM_{10} – ein Fahrzeugkilometer der Klasse "Lkw ≥ 12 t zGG" in etwa 6,5 Fahrzeugkilometern der Fahrzeugklasse "Sonstige Fahrzeuge"⁶⁵.

Auf dieser Basis werden mittels unterschiedlicher Ausbreitungs- und Verteilungsmodelle, über die **[SCHMID 2005]** einen guten Überblick gibt, fahrleistungs- und abschnittsbezogene Immissionsdaten ermittelt. In dieser Arbeit wird das Verfahren nach **[FGSV 2005]** angewendet, da dessen Anwendung im zugehörigen allgemeinen Rundschreiben Nr. 6/2005 durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung - BMVBS (damalige Bezeichnung: BMVBW) für Bundesfernstraßen empfohlen wird. Das Verfahren nach **[FGSV 2005]** hat damit die höchste Verbindlichkeit. Da es allerdings nur die Immissionsberech-

⁶⁵ s. Anhang D

nung im unmittelbaren Nahbereich der Quelle erlaubt⁶⁶, ist von einer deutlichen Unterschätzung der tatsächlichen Wirkungen bzw. Kosten auszugehen.

Durch Überlagerung der abschnitts- und fahrzeugklassenbezogenen Immissionswerte mit georeferenzierten Einwohnerdaten werden die Immissionsdaten zusätzlich einwohnerbezogen angegeben. Diese Einwohnerdaten liegen im Gegensatz zu den für die Berechnung der Kosten durch Gebäudeschäden notwendigen Daten vor, da sie bereits bei der Umsetzung der Lärmkartierung im Zuge der EU-Richtlinie **[KOM 2002]** benötigt wurden. Wie bereits beim Kostenbereich "Lärmkosten" werden die Schäden der Einwohner vereinfachend dem Abschnitt zugeordnet, der die geringste Luftlinienentfernung zum betrachteten Wohngebäude aufweist.

4.4.6.2 Wirkungen auf die Vegetation

Zur Ermittlung der durch Vegetationsschäden entstehenden Kosten werden die in den Emissionskatastern abschnittsbezogen vorliegenden NO_x- und VOC-Emissionen als Mengengerüst verwendet. Dabei bestehen die VOC-Emissionen i. d. R. aus dem Ausstoß der Schadstoffe Benzol, Toluol und Xylol. Die Höhe der landwirtschaftlichen Produktion sowie die Größe der Waldfläche und der Fläche des gesamten Untersuchungsgebiets wird aus statistischen Daten ermittelt. Diese liegen i. d. R. auf Ebene der Bundesländer vor. Da bei diesem Ansatz die Ermittlung von Immissionsdaten entfällt, werden auch Kosten berücksichtigt, die außerhalb des Geltungsbereichs etwaiger Ausbreitungs- und Verteilungsmodelle entstehen. Um die Wirkungen im Nah- und Fernbereich gleichermaßen zu erfassen, werden derart weiträumige Daten verwendet.

Die fahrzeugklassenbezogene Allokation wird wiederum unter Berücksichtigung des transformierten SV-Anteils und dem Verhältnis der Emissionsfaktoren nach **[KELLER ET AL. 2004]** für die Verkehrssituation "Autobahndurchschnitt" vorgenommen. Bzgl. der NO_x-Emissionen entspricht ein Fahrzeugkilometer der Fahrzeugklasse "Lkw ≥ 12 t zGG" ca. 11,1 Fahrzeugkilometern der Klasse "Sonstige Fahrzeuge", während hinsichtlich der Benzol-, Toluol- und Xylolemissionen⁶⁷ ein Fahrzeugkilometer der Klasse "Lkw ≥ 12 t zGG" ca. 1,05, 0,21 und 0,61 Fahrzeugkilometern der Klasse "Sonstige Fahrzeuge" gleichkommt⁶⁸. Nach Ermittlung der abschnitts- und fahrzeugklassenbezogenen Gesamtkosten werden

⁶⁶ Jeweils bis zu 200 Meter beidseits der Straße

⁶⁷ Für VOC werden bei [Keller et al. 2004] im Gegensatz zu deren im Zusammenhang mit Kraftfahrzeugverkehr relevanten Bestandteilen Benzol, Toluol und Xylol keine Emissionsfaktoren angegeben.

⁶⁸ s. Anhang D

diese unter Verwendung von transformierten Daten von [KATHMANN ET AL. 2007] fahrleistungsbezogen angegeben.

4.5 Kosten für Natur und Landschaft

4.5.1 Einführung

Dieser Kostenbereich umfasst alle aus der Flächeninanspruchnahme von Autobahnen resultierenden externen Kosten, soweit sie nicht durch die Wegekostenrechnung oder den nachfolgenden Kostenbereich "Wasser- und Bodenverschmutzung" erfasst werden.

Generell muss in diesem Zusammenhang zwischen der **Nutzung** und der **Funktion** von Flächen unterschieden werden:

Durch den Bau einer Autobahn steht die beanspruchte Fläche für andere wirtschaftliche **Nutzungen** nicht mehr zur Verfügung. Die Nutzensausfälle in den betreffenden Wirtschaftszweigen sind mit Kosten verbunden. Ausgehend von der Annahme, dass die zum Erwerb der von der Autobahn betroffenen Fläche gezahlten Bodenpreise die Knappheit der Ressource Boden, die sich aus konkurrierenden Nutzungsmöglichkeiten ergibt, ausreichend genau widerspiegeln und diese in der Wegekostenrechnung hinreichend exakt erfasst werden, gelten die genannten Nutzensausfälle bzw. Kosten als über die Wegekostenrechnung erfasst.

Der Bau von Autobahnen beeinträchtigt weiterhin die überwiegend nicht-wirtschaftlichen **Funktionen** der beanspruchten Fläche als Lebensraum für Tiere und Pflanzen oder als Teil eines schützenswerten Landschaftsbildes. Diese direkten Wirkungen ziehen langfristig weitere Schäden wie bspw. Einnahmeverluste in der Touristikbranche nach sich, die Auswirkungen auf die Wertschöpfung haben und daher im Rahmen dieser Arbeit berücksichtigt werden. Da keine der mit diesen Schäden verbundenen Kosten über den Bodenpreis abgebildet werden, gelten sie als extern.

4.5.2 Betrachtete Wirkungen

Mit der Beeinträchtigung der Flächenfunktion sind folgende **direkte** Wirkungen verbunden:

- (Qualitäts-)Verlust des Lebensraums von Tieren und Pflanzen
- Zerschneidung des Lebensraums von Tieren und Pflanzen
- Beeinträchtigung des Landschaftsbildes
- Trennungseffekte bezogen auf menschliche Aktivitäten

Bezüglich der daraus resultierenden **Schäden mit Auswirkungen auf die Wertschöpfung** liegen keine exakten Daten vor. Als nahezu sicher darf angenommen werden, dass Einnahmeverluste in den Wirtschaftsbereichen Tourismus und Jagd auftreten. Eine Quantifizierung dieser Schäden ist aufgrund der mangelhaften Datenlage aktuell nicht möglich.

4.5.3 Bewertungsverfahren/Wertegerüst

4.5.3.1 Vorstellung verschiedener Verfahren

Da sich die **Schäden mit Auswirkungen auf die Wertschöpfung** nicht quantifizieren lassen, ist deren direkte Bewertung nicht möglich. Die vorliegenden Bewertungsverfahren (biozentrischer Ansatz nach [ROTHENGATTER ET AL. 1999] und [MAIBACH ET AL. 2000] sowie Habitat-Ansatz nach [OTT 2004]) beziehen sich daher ausschließlich auf die **direkten** Wirkungen.

Beim biozentrischen Ansatz werden alle im Kapitel 4.5.2 aufgeführten **direkten** Wirkungen berücksichtigt. Ausgehend vom Bezugsjahr 1950, dessen infrastrukturelle Ausstattung von [ROTHENGATTER ET AL. 1999] als akzeptabel hinsichtlich des Eingriffsniveaus festgelegt wurde, werden die anteiligen jährlichen Kosten ermittelt, die zur Wiederherstellung dieses Zustandes aufgebracht werden müssten. Das Verfahren ist dem Schadenskostenansatz, genauer gesagt dem Kostenwertansatz, zugeordnet. Der Hauptnachteil des Verfahrens liegt darin, dass die mit dem Verfahren ermittelten Kostensätze mit zunehmender Jahreszahl abnehmen. Bei Anwendung des Verfahrens auf die gleiche Verkehrsanlage im Jahr 2000 und im Jahr 2020 müssten die ermittelten konstanten Wiederherstellungskosten auf 50 bzw. 70 Jahre aufgeteilt werden, um jährliche Kosten und damit anzulastende externe Kosten zu bestimmen. Die Dauer des Betrachtungszeitraums hat also einen maßgeblichen Einfluss auf die Höhe der Kostensätze. Weiterhin wird die gleichmäßige Aufteilung der Gesamtkosten auf die Jahre des Betrachtungszeitraumes vom Verfasser der vorliegenden Arbeit als kritisch bewertet, da in Jahren mit erhöhter Bauaktivität höhere externe Kosten erzeugt wurden als in Jahren mit reduzierten Anstrengungen hinsichtlich des Verkehrswegebaus.

Für die einzelnen Verfahrensschritte der Flächenentsiegelung, Wiederherstellung von Biotopen sowie Boden- und Grundwasserreinigung werden jeweils Kostensätze pro Quadratmeter betroffener Fläche bzw. Kubikmeter betroffenen Bodenvolumens angegeben. Zusätzlich wird ein Kostensatz pro Quadratmeter betroffener Fläche zur Berücksichtigung so genannter "anderer Effekte", wie z. B. Barriereeffekte und visuelle Effekte, zur Anwendung empfohlen. Da die Kosten durch Boden- und Grundwasserverschmutzung in dieser Arbeit getrennt betrach-

tet werden (s. Kapitel 4.6), verbleiben bei Anwendung des Verfahrens Kosten für Flächenentsiegelung, Wiederherstellung von Biotopen und "andere Effekte".

Beim Habitat-Ansatz nach [OTT 2004] werden die **direkten** Wirkungen "Verlust des Lebensraums von Tieren und Pflanzen" und "Zerschneidung des Lebensraums von Tieren" betrachtet. Zur Quantifizierung der Wirkungen wird zunächst, wie bereits beim biozentrischen Ansatz, ein gewähltes Bezugsjahr (bei [OTT 2004]: 1950/1960er) Jahre gewählt, für das keine nennenswerte Beeinträchtigung des Lebensraums durch Verkehr angenommen wird. Durch den luftbildgestützten Vergleich des verkehrswegebedingten Rückgangs der Lebensräume zwischen dem Basis- und dem Untersuchungsjahr ergeben sich die Verlustflächen. Diese werden mit Kostensätzen für die Neuschaffung (Landkauf, Erstinstandsetzung und Pflegemaßnahmen) entsprechender Lebensräume an anderer Stelle bewertet. Es handelt sich also um Kostensätze, die unter Anwendung des Ausgleichsansatzes ermittelt werden. Eine potenzielle Zerschneidung liegt laut [OTT 2004] bei Straßen mit einer DTV > 10.000 Kfz/24h vor. Mit Hilfe von Luftbildern wird untersucht, ob beidseits der betreffenden Straßen Lebensräume vorhanden sind. Treffen beide Bedingungen zu, liegt eine Zerschneidung vor, die mittels Kostensätzen für den Bau und Erhalt von Bauwerken, welche die Zerschneidung der Lebensräume aufheben, bewertet wird. Die Kostensätze basieren auf dem Kostenwertansatz und schweizerischen Daten. In [MAIBACH ET AL. 2007] wird explizit darauf hingewiesen, dass bei Anwendung dieses Verfahrens nach Möglichkeit landestypische Kostensätze entwickelt werden sollten. Als kritisch wird die luftbildgestützte Analyse des Straßenseitenraums vom Verfasser der vorliegenden Arbeit eingeschätzt, da für eine weitgehend fehlerfreie Eingruppierung erhebliches Fachwissen über die Beschaffenheit unterschiedlicher Lebensräume und die Anforderungen der berücksichtigten Tier- und Pflanzenarten notwendig ist. Da nicht vorauszusetzen ist, dass die mit der Berechnung externer Kosten des Verkehrs beauftragten Personen über ein derartiges Fachwissen verfügen, erscheint das Verfahren als nur bedingt praxistauglich.

4.5.3.2 Gewählte Bewertungsmethodik

Beide Verfahren beinhalten große Defizite und sind nur bedingt zur Kostenermittlung geeignet. Insbesondere die Tatsache, dass eine Bewertung der Schäden mit Auswirkungen auf die Wertschöpfung nicht möglich ist, lässt es fraglich erscheinen, ob mit den Verfahren eine sachgerechte Abschätzung der tatsächlich entstehenden Kosten möglich ist. Da die bei Anwendung des Habitat-Ansatzes notwendige luftbildgestützte Analyse des Straßenseitenraumes als besonders fehleranfällig erachtet wird, kommt der biozentrische Ansatz im Rahmen der vorliegenden Arbeit zum Einsatz. In Tabelle 4-26 sind die berücksichtigten Kostensätze dargestellt.

Tabelle 4-26: Kostensätze für Kostenbereich "Kosten für Natur und Landschaft", nach [Rothengatter et al. 1999] und [Maibach et al. 2000]

	Flächenent-siegelung	Wiederherstellung von Biotopen	"andere Effekte"	Gesamt
Preis-stand 1995	50 DM/m ²	20 DM/m ²	20 DM/m ²	90 DM/m ²
Preis-stand 2004	28 €/m ²	12 €/m ²	12 €/m ²	52 €/m ²

Bei einer Diskontrate von 2 % und einem Bezugszeitraum von 54 Jahren (1950 – 2004) fallen jährliche Kosten in Höhe von 0,544 €/m² an.

4.5.4 Mengengerüst und Allokationsrechnung

Die abschnittsbezogene Allokation erfolgt zunächst anhand der Fahrbahnbreiten. Dabei wird vereinfachend zwischen Abschnitten mit zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen unterschieden.

Aufgrund wechselnder Richtlinien zur Querschnittsgestaltung ([FGSV 1956], [FGSV 1974], [FGSV 1982], [FGSV 1996] und [FGSV 2006]) liegen die Kronenbreiten von Abschnitten mit zweistreifigen Richtungsfahrbahnen zwischen 23 m und 31 m, während Abschnitte mit dreistreifigen Richtungsfahrbahnen Kronenbreiten zwischen 33 m und 37,5 m aufweisen. In dieser Arbeit werden die mittleren Kronenbreiten vereinfachend zu 27 m bzw. 35 m für Abschnitte mit zwei- bzw. dreistreifigen Richtungsfahrbahnen angenommen. Da ebenfalls der Bereich direkt neben der versiegelten Fläche nicht als Lebensraum für eine Vielzahl von Tieren und Pflanzen zur Verfügung steht, ergibt sich die Gesamtbreite als Summe der Kronenbreite des betrachteten Abschnitts und der Breite des beeinflussten Seitenraums. Dieser beeinflusste Seitenraum wird zu jeweils 15 m auf beiden Seiten der Straße abgeschätzt⁶⁹.

Daraus resultieren jährliche Kosten in Höhe von 31.008 €/km bzw. 35.360 €/km für Abschnitte mit zwei- bzw. dreistreifigen Richtungsfahrbahnen.

Da die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und die damit einhergehenden Verluste in der Touristikbranche bei der Betrachtung von Autobahnen zu weiten Teilen infrastrukturbedingt sind und kaum von den die Infrastruktur nutzenden Fahrzeugen bzw. Fahrzeugklassen abhängt, wird hinsichtlich der fahrzeugklassenbezogenen Allokation festgelegt, dass ein Fahrzeugkilometer der Fahrzeugklasse "Lkw ≥ 12 t zGG" einem Fahrzeugkilometer "Sonstiger Fahrzeuge" entspricht.

⁶⁹ s. Kapitel 4.6.4

Zur fahrleistungsbezogenen Allokation werden transformierte Daten von [KATHMANN ET AL. 2007] herangezogen.

4.6 Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung

4.6.1 Einführung

Neben den bereits behandelten Luftschadstoffen und Klimagasen werden durch den Straßenverkehr weitere flüssige und feste Schadstoffe freigesetzt, die Böden, Grund- und Oberflächenwasser belasten. Dazu zählen vor allem Streusalze (zu ca. 98 % NaCl) und die Schwermetalle Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom(VI)oxid (ChVI) und Quecksilber (Hg). Während Streusalz durch den Winterdienst auf die Straßen aufgebracht wird, resultieren die genannten Schwermetalle vor allem aus Abrieb an Bremsen und Rädern der Fahrzeuge. Obschon durch die EU-Richtlinie [KOM 2000] bzw. das [ALTFAHRZEUGG 2002] und die [ALTFAHRZEUGV 2002] der Einsatz von Blei, Cadmium, Chrom und Quecksilber stärker reglementiert ist als noch vor fünfzehn Jahren, lassen sich laut [SCHREYER ET AL. 2006] nach wie vor erhöhte Konzentrationen dieser Schadstoffe in Böden in der direkten Umgebung von Straßen nachweisen.

4.6.2 Betrachtete Wirkungen

Die genannten Schadstoffe gelangen nach ihrem Eintrag in straßennahe Böden über den Wasserkreislauf bzw. die Nahrungskette zum Menschen, auf den sie wie in Tabelle 4-27 dargestellt wirken. Von den Verursachern werden derzeit keine Beiträge zur Deckung der daraus resultierenden Kosten geleistet. Es handelt sich daher im Sinne der methodischen Festlegungen dieser Arbeit vollständig um externe Kosten.

Tabelle 4-27: Schadstoffe und ihre Wirkung, nach [Maibach et al. 2000], [Bickel, Friedrich 2005], [UBA 2009 g]

Schadstoff	Wirkung
NaCl	begünstigt die Löslichkeit von Schwermetallen
Pb	nervenschädigend
Cd	krebserregend nierenschädigend
ChVI	krebserregend
Hg	nervenschädigend nierenschädigend

Insgesamt ergibt sich ein komplexes Bild bzgl. der Wirkungen der betrachteten Schadstoffe. Weiterhin ist anzumerken, dass eine quantitative Beschreibung über Dosis-Wirkungsbeziehungen nur für wenige der dargestellten Wirkungen abgesichert möglich ist. Je nach Verfahren zur Ermittlung der externen Kosten

werden einige der Wirkungen direkt betrachtet oder die Gesamtheit aller Wirkungen indirekt bewertet.

4.6.3 Bewertungsverfahren/Wertegerüst

4.6.3.1 Vorstellung verschiedener Verfahren

Insgesamt lassen sich drei Verfahren unterscheiden, nach denen die externen Kosten der oben genannten Wirkungen direkt oder indirekt quantifiziert werden:

Das Verfahren nach **[ROTHENGATTER ET AL. 1999]** und **[MAIBACH ET AL. 2000]** sieht als Bestandteil des umfassenderen, bereits im Kapitel 4.5.3.1 erläuterten biozentrischen Ansatzes, bei dem die Gesamtkosten zur Wiederherstellung der landschaftlichen Gegebenheiten des Jahres 1950 bestimmt werden, die Ermittlung der anteiligen jährlichen Kosten zum Austausch des kontaminierten Bodens bis zu einer pauschal abgeschätzten Tiefe von 20 cm und zur Reinigung des betroffenen Grundwassers vor. Die Kosten des Austauschs kontaminierten Bodens betragen laut **[MAIBACH ET AL. 2000]** 70 DM/m³ (Preisstand 1995). Zur Berücksichtigung der Kosten durch Wasserverschmutzung wird dieser Kostensatz verdoppelt. Die Gesamtkosten werden auf die Jahre des Betrachtungszeitraums (1950 bis zum Untersuchungszeitpunkt) aufgeteilt. Wie bereits dargelegt, ist das Verfahren dem Kostenwertansatz zuzuordnen. Da allerdings die Kosten für die Wiederherstellung der Ressourcen Boden und Wasser ermittelt und nicht die am Ende der Wirkungskette stehenden Schäden der Tabelle 4-27 betrachtet werden, muss insgesamt davon ausgegangen werden, dass mit dem Verfahren die Ermittlung der tatsächlich entstehenden Kosten nur bedingt möglich ist. Weiterhin umfasst der angewendete Kostensatz keine Kosten zur Reinigung des ausgetauschten Bodens. Die im Kapitel 4.5.3 dargelegten Nachteile des biozentrischen Ansatzes gelten für den hier betrachteten Teilbereich des Verfahrens gleichermaßen.

Mit dem Verfahren nach **[SCHREYER ET AL. 2006]** werden die externen Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung ebenfalls über die Kosten für den Bodenaustausch abgeschätzt. Insofern basiert dieses Verfahren auch auf dem Schadenskostenansatz. Im Gegensatz zu **[ROTHENGATTER ET AL. 1999]** und **[MAIBACH ET AL. 2000]** wird allerdings angenommen, dass nur geringfügige Wasserverschmutzungen auftreten und diese daher bei der Kostenberechnung nicht berücksichtigt werden müssen. Neben den oben genannten Schadstoffen werden auch Zink (Zn), Kupfer (Cu) und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in die Betrachtungen mit einbezogen. Außerdem werden die jährlichen Kosten nicht aus den Gesamtkosten für den kompletten Austausch des Bodens abgeleitet. Vielmehr werden zunächst unter Berücksichtigung

schadstoffspezifischer Emissionsfaktoren und Grenzwerte der Bodenbelastung die jährlich pro Schadstoff auszutauschenden Bodenmassen errechnet. Die insgesamt auszutauschende Masse entspricht dem Höchstwert der schadstoffspezifischen Einzelwerte. Diese wird mit einem speziell für die Schweiz ermittelten Kostensatz (62 €/m³, Preisstand 2004) bewertet. Dieser Kostensatz umfasst im Gegensatz zum biozentrischen Ansatz alle mit dem Austausch und der Reinigung des kontaminierten Bodens verbundenen Kosten. Das Verfahren hat im Vergleich zu **[ROTHENGATTER ET AL. 1999]** und **[MAIBACH ET AL. 2000]** den Vorteil, dass nicht pauschal ein 20 cm tiefer Bereich ausgetauscht wird. Vermutlich werden aber die jährlich auszutauschenden Bodenmassen durch die zu ihrer Ermittlung gewählten Vorgehensweise systematisch unterschätzt: Tabelle 4-28 gibt das Ergebnis der pro Schadstoff auszutauschenden Bodenmassen für ein Beispiel an.

Tabelle 4-28: Beispiel für pro Schadstoff auszutauschende Bodenmassen, eigene Darstellung

Schadstoff	Auszutauschende Bodenmasse [m ³]
Cd	40.000
Zn	1.200.000
Pb	25.000
Cu	140.000
PAK	90.000

Als Ergebnis würden demnach 1.200.000 m³ Boden ausgetauscht. Generell ist es aber denkbar, dass die durch PAK belasteten Bodenmassen nicht gänzlich in den durch Zink kontaminierten Massen aufgehen. Die auszutauschenden Massen lägen damit oberhalb von 1.200.000 m³. Ein weiteres Problem liegt in der Festlegung der Grenzwerte, bei deren Überschreitung ein Bodenaustausch vorgenommen werden soll. Beim Vergleich der schweizerischen Werte nach der **[VBBO 1998]** mit den deutschen Festlegungen nach der **[BBODSCHV 1999]** fällt auf, dass die jeweiligen so genannten Prüfwerte um bis zum Faktor 2.000 voneinander abweichen. So gilt in Deutschland für Flächen für den Ackerbau hinsichtlich Blei eine Höchstgrenze von 0,1 mg/kg Trockenmasse, während dieser Wert in der Schweiz 200 mg/kg Trockenmasse beträgt.

Der u. a. von **[BICKEL, FRIEDRICH 2005]** beschriebene Wirkungspfadansatz des Forschungsprojektes ExternE berücksichtigt die Schwermetalle Pb, Cd, CrVI und Ni sowie das Halbmetall Arsen (As), das durch Verbrennung von Kraftstoffen emittiert wird und als krebserregend gilt. Das Verfahren bedient sich zunächst verschiedener Ausbreitungs- und Expositionspfadmodelle, um die von Menschen aufgenommene Menge der Schadstoffe abzubilden. Über den Dosis-Wirkungsansatz werden einzelne der in Tabelle 4-27 dargestellten Wirkungen sowie die krebserregende Wirkung von As mengenmäßig beschrieben. Die der-

art quantifizierten Wirkungen werden abschließend mit Kostensätzen bewertet, die über den Schadenskostenansatz und Zahlungsbereitschaftsverfahren ermittelt werden.

Generell weist der Wirkungspfadansatz nach ExternE die größte Plausibilität auf, da bei seiner Anwendung die Wirkungskette von der die Verschmutzung erzeugenden Aktivität bis zur daraus resultierenden Schädigung modellhaft nachgebildet wird. Aufgrund der Tatsache, dass nur einige der Wirkungen über Dosis-Wirkungsbeziehungen quantitativ beschrieben werden können, sind aber die über dieses Verfahren ermittelten Kosten ebenfalls als untere Grenze der tatsächlich entstehenden Kosten anzusehen. Weiterhin erfordert das Verfahren den Aufbau detaillierter Ausbreitungs- und Expositionspfadmodelle.

4.6.3.2 Gewählte Bewertungsmethodik

Aufgrund der im schweizerisch-deutschen Vergleich sehr unterschiedlichen Grenzwerte für Bodenkontaminationen wird das Verfahren von **[SCHREYER ET AL. 2006]** in dieser Arbeit nicht weiter verfolgt. In diesem Bereich sollten zumindest im europäischen Raum einheitliche, auf wissenschaftlichen Erkenntnissen basierende Grenzwerte geschaffen werden.

Der Wirkungspfadansatz wird ebenfalls nicht zur Anwendung gebracht, da die erforderlichen Modelle im Rahmen dieser Arbeit weder aufgestellt werden können, noch zur Gewährleistung einer einfachen Übertragbarkeit der Gesamtmethodik aufgestellt werden sollen.

Damit ergibt sich die Anwendung des Verfahrens nach **[ROTHENGATTER ET AL. 1999]**. Um auch neuere Erkenntnisse von **[SCHREYER ET AL. 2006]** einfließen zu lassen, wird angenommen, dass

- sich keine Belastungen für das Grundwasser ergeben und
- ein Kostensatz in Höhe von 62 €/m^3 ($0,648 \text{ €/}(\text{m}^3 \cdot \text{a})^{70}$) kontaminiertem Boden bzw. $12,40 \text{ €/m}^2$ ($0,13 \text{ €/}(\text{m}^2 \cdot \text{a})^{70}$) kontaminierter Fläche alle relevanten Kosten umfasst.

4.6.4 Mengengerüst und Allokationsrechnung

Die abschnittsbezogene Allokation erfolgt in Analogie zum Kostenbereich "Kosten für Natur und Landschaft". Danach ergeben sich für zwei- und dreistreifige Abschnitte unterschiedliche Kronenbreiten. Der Bereich, der zusätzlich zu der direkt durch das Straßenbauwerk betroffenen Fläche durch Schwermetalle und

⁷⁰ Bei einer Diskontrate von 2 % und einem Bezugszeitraum von 54 Jahren

PAK kontaminiert ist, wird bei **[ROTHENGATTER ET AL. 1999]** mit einer Breite von mindestens 5 m angegeben. Neuere Untersuchungen von **[HOLENSTEIN 2000]** ergeben, dass bis zu einer Entfernung von 15 m zur eigentlichen Fahrbahn richtwertüberschreitende Schadstoffkonzentrationen im Boden nachweisbar sind. In der vorliegenden Arbeit wird die Breite des insgesamt zusätzlich kontaminierten Bereichs zu einheitlich 30 m angenommen. Damit ergeben sich jährliche Kosten in Höhe von ca. 7.410 €/km bzw. 8.450 €/km für Abschnitte mit zwei- bzw. dreistreifigen Richtungsfahrbahnen.

Da keine Daten zur fahrzeugklassenbezogenen Emission von Schwermetallen kostenfrei zur Verfügung stehen, wird vereinfachend angenommen, dass ein Fahrzeugkilometer eines Lkws ≥ 12 t zGG einem Fahrzeugkilometer eines sonstigen Fahrzeugs entspricht. Eine über das Konzept der Pkw-Einheiten abgeleitete Allokation wie bei **[MAIBACH ET AL. 2000]** wird für diese Arbeit abgelehnt, da unklar ist, auf welcher Basis diese Kostenaufteilung vorgenommen wurde.

Zur fahrleistungsbezogenen Allokation werden wiederum transformierte Daten von **[KATHMANN ET AL. 2007]** herangezogen.

4.7 Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse

4.7.1 Einführung

Motorisierter Verkehr ist mit Prozessen verbunden, die nicht direkt mit der eigentlichen Ortsveränderung im Zusammenhang stehen, sondern dieser vor- oder nachgelagert sind. Dazu zählen vor allem

- der Bau, die Unterhaltung und die Entsorgung von Fahrzeugen;
- der Bau, die Unterhaltung und der Rückbau von Fahrwegen sowie
- die Herstellung, der Transport und ggf. die Entsorgung der für den Betrieb des Fahrzeugs notwendigen Brenn- und Schmierstoffe.

4.7.2 Betrachtete Wirkungen

Die oben genannten Prozesse haben eine Vielzahl unterschiedlicher Wirkungen zur Folge, die mit externen Kosten im Sinne der methodischen Festlegungen der vorliegenden Arbeit verbunden sind. Schadhafte Wirkungen, die aus mit den genannten Prozessen in Verbindung stehendem straßenseitigem Transport resultieren, würden bereits bei konsequenter Internalisierung externer Kosten des gesamten Straßenverkehrs in den anderen Kostenbereichen erfasst und sind daher nicht mehr Gegenstand der folgenden Ausführungen.

Luftschadstoffe und Klimagase:

Die Emissionen von Luftschadstoffen und Klimagasen, die sich aus den oben genannten vor- und nachgelagerten Prozessen ergeben, führen ebenfalls zu den in den Kapiteln 4.3 und 4.4 dargestellten Wirkungen. Die vorhandenen Studien zu dieser Thematik beinhalten Verfahren zur Bewertung einiger dieser Wirkungen. Sie werden daher, soweit möglich, auch in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt.

Lärmemissionen:

Je nachdem, welche Regelungen zum Arbeitsschutz in den Förderländern der Kraft- und Schmierstoffe gelten, treten unterschiedlich starke schädigende aurale und extra-aurale Lärmwirkungen bei den im Förderungsprozess eingesetzten Arbeitskräften auf. Auch eine extra-aurale Schädigung von Anwohnern ist nicht gänzlich auszuschließen. Insgesamt darf nach Ansicht des Verfassers vermutet werden, dass es sich im Vergleich zur Anzahl der von Verkehrslärm geschädigten Personen um wenige betroffene Arbeitnehmer bzw. geschädigte Anwohner handelt. Schädigende Wirkungen, die im Zusammenhang mit dem Bau von Fahrzeugen bzw. der Autobahnen stehen, können auf der Basis der in den Mitgliedsstaaten der EU geltenden Grenzwerte zur Lärmbelastung am Arbeitsplatz nach **[KOM 2003]** nicht ausgeschlossen werden. Aufgrund fehlender Daten über die Lärmemissionen bzw. -immissionen und die Anzahl der betroffenen Personen ist eine Berücksichtigung der dargestellten Zusammenhänge nicht möglich. Es werden daher in dieser Arbeit keine Lärmkosten im Zusammenhang mit vor- und nachgelagerten Prozessen berechnet.

Unfälle und Havarien:

Mit dem Transport von Kraft- und Schmierstoffen sowie produzierten Fahrzeugen zum Vertriebspunkt ist die Gefahr von Unfällen verbunden. Soweit diese über den Seeweg oder über Pipelines abgewickelt werden, werden sie nicht über den Kostenbereich "Unfallkosten" erfasst. Insbesondere die Havarie von Öltankern kann jedoch zu erheblichen Schäden führen. Obschon Teile der Schadenswirkung durch Versicherungen gedeckt sind, wird angenommen, dass externe Kostenanteile verbleiben, die auf die Allgemeinheit abgewälzt werden. Diese Annahme basiert auf der im Falle einer Havarie auftretenden Schädigung des Ökosystems, deren wirtschaftliche Folgen aufgrund ihrer Komplexität nur unzureichend ermittelt werden können. Da auch für diese Wirkungen aufgrund unzureichender Daten keine quantitative Abschätzung möglich ist, werden sie hier nicht weiter berücksichtigt.

Wasser- und Bodenverschmutzung

Bisher unberücksichtigt sind Verschmutzungen bzw. deren Wirkung im Zusammenhang mit dem Bau, dem Unterhalt und der Entsorgung der Fahrzeuge sowie

der Förderung, der Raffinerie und dem Vertrieb von Kraft- und Schmierstoffen. Im Rahmen dieser Arbeit wird angenommen, dass aufgrund der vergleichsweise strengen Umweltgesetzgebung in den meisten fahrzeugproduzierenden Ländern nur geringe externe Kosten aus Wasser- und Bodenverschmutzungen beim Bau von Fahrzeugen resultieren. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die im Rahmen der Unterhaltung von Fahrzeugen in Deutschland anfallenden externen Kosten vernachlässigbar sind. Bei der Entsorgung von Fahrzeugen sind die Hersteller nach dem **[ALTFahrzeugG 2002]** und der **[ALTFahrzeugV 2002]** dazu verpflichtet, dass ab dem Jahr 2006 mindestens 85 % des durchschnittlichen Gewichts eines Altfahrzeugs verwertet werden. Allerdings übernehmen nach wie vor meist Kommunen die Bodensanierungen stillgelegter Schrottplätze. Da zur Quantifizierung der damit verbundenen externen Kosten Berechnungsansätze vorliegen, wird dieser Teilbereich im Weiteren näher betrachtet. Für die Ermittlung der Kosten, die durch Wasser- und Bodenverschmutzungen im Zusammenhang mit der Förderung, der Raffinerie und dem Vertrieb von Kraft- und Schmierstoffen entstehen, liegen keine verwertbaren Daten vor. Sie werden daher in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Fazit

Insgesamt muss festgehalten werden, dass mit der Bewertung von

- Emissionen von Luftschadstoffen aller vor- und nachgelagerter Prozesse,
- Emissionen von Klimagasen aller vor- und nachgelagerter Prozesse und
- Wasser- und Bodenverschmutzungen durch Fahrzeugentsorgung

nur ein Teil aller Wirkungen der vor- und nachgelagerten Prozesse betrachtet werden können. Die vorhandene, unzureichende Datenlage lässt keine umfassendere Betrachtung zu. In diesem Bereich wird daher ebenfalls von einer Unterschätzung der externen Kosten ausgegangen.

4.7.3 Bewertungsverfahren/Wertegerüst

4.7.3.1 Vorstellung verschiedener Verfahren

Bezogen auf Emissionen von Luftschadstoffen und Klimagasen vor- und nachgelagerter Prozesse lassen sich die vorhandenen Studien

- dem Wirkungspfadansatz nach ExterneE oder
- dem Ökoinventaransatz nach **[MAIBACH ET AL. 2000]**, **[SCHREYER ET AL. 2004A]** und **[SCHREYER ET AL. 2006]** zuordnen.

Beim Wirkungspfadansatz wird entsprechend dem Vorgehen bei anderen Kostenbereichen zunächst die Menge der emittierten Luftschadstoffe bestimmt. Unter Verwendung von Ausbreitungsmodellen werden im Folgenden Immissionswerte ermittelt. Anschließend werden die Schadenswirkungen über Dosis-Wirkungsbeziehungen quantifiziert, um sie abschließend mit separat hergeleiteten Kostensätzen zu bewerten.

Beim Ökoinventaransatz wird auf der Basis umfangreicher, einzelnen Prozessen zugeordneter Daten zu Luftschadstoff- und Klimagasemissionen die Menge der bei vor- und nachgelagerten Prozessen insgesamt emittierten Luftschadstoffe ermittelt. Bei **[MAIBACH ET AL. 2000]** und **[SCHREYER ET AL. 2004A]** werden die ermittelten Emissionen vor- und nachgelagerter Prozesse dazu genutzt, die Kosten der indirekten Emissionen im Verhältnis zu denen der direkten Emissionen anzugeben. Diese Verhältniswerte sind in Tabelle 4-29 dargestellt. Die derart ermittelten Verhältniswerte zwischen indirekten und direkten Emissionskosten liegen bei **[SCHREYER ET AL. 2004A]** für alle Kraftfahrzeuge außer schweren Lkws unter denen von **[MAIBACH ET AL. 2000]**. Die Gründe für diese Unterschiede können nicht abschließend geklärt werden; es ist aber zu vermuten, dass die Abweichungen aus der Verwendung unterschiedlicher Grundlagendaten von **[MAIBACH ET AL. 1995]** bzw. **[ECOCONCEPT 2003A]** und **[ECO-CONCEPT 2003B]** resultieren.

Tabelle 4-29: Prozentwerte der Luftschadstoff- und Klimagaskosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse bezogen auf die entsprechenden Kostenbereiche durch direkte Emissionen, nach [Maibach et al. 2000] und [Schreyer et al. 2004a]

	Luftverschmutzung [%] (Prozentsatz der Luftverschmutzungskosten)		Klimaveränderung [%] (Prozentsatz der Klimaveränderungskosten)	
	Maibach et al. 2000	Schreyer et al. 2004	Maibach et al. 2000	Schreyer et al. 2004
Pkw	20	15	32	21
Krad	20	15	32	21
Bus	10	16	26	15
Lkw ≤ 3,5 t zGG	22	15	30	18
Lkw >3,5 t zGG	13	16	26	15

[SCHREYER ET AL. 2006] betrachten nur Klimagasemissionen vor- und nachgelagerter Prozesse. Dazu werden im Vergleich zu **[SCHREYER ET AL. 2004A]** wiederum neuere Grundlagendaten von **[ECOCONCEPT 2004A]** und **[ECO-CONCEPT 2004B]** herangezogen und die Klimagase CO₂, CH₄, N₂O, SF₆ und Fluorkohlenwasserstoffe betrachtet. Die daraus resultierenden Kosten werden im Gegensatz zu den Vorgängerstudien nicht als Prozentsätze der direkten Kosten angegeben. Vielmehr werden zunächst die Emissionen in Gramm CO₂-

Äquivalenten ausgewiesen, um diese anschließend durch Multiplikation mit entsprechenden Kostensätzen zu monetarisieren. Die Emissionswerte sind für fahrzeug- und kraftstoffbezogene vor- und nachgelagerte Prozesse in Tabelle 4-30 und Tabelle 4-31 dargestellt. Die Klimagasemissionen infrastrukturbezogener vor- und nachgelagerter Prozesse betragen nach [SCHREYER ET AL. 2006] 17 kg CO₂-Äquivalente/m Infrastruktur und Jahr.

Tabelle 4-30: Klimagasemissionen im Produktlebenszyklus von Kraftfahrzeugen, nach [Schreyer et al. 2006]

	Emissionen im Produktlebenszyklus von						
	Pkw	Krad	Lieferwagen	Bus	Lkw bis 16 t zGG	Lkw bis 28 t zGG	Lkw bis 40 t zGG
g/Fz*km	32,7	36,7	52,9	54,7	54,5	74,0	104,7

Tabelle 4-31: Klimagasemissionen bei Gewinnung, Transport und Bearbeitung von Treibstoffen, nach [Schreyer et al. 2006]

	Emissionen bei Gewinnung, Transport und Bearbeitung von Treibstoffen	
	Benzin	Diesel
g/l Treibstoff	580	500

Weder der Wirkungspfadansatz noch der Ökoinventaransatz sind per se einem bestimmten Bewertungsverfahren zugeordnet.

Insgesamt ist festzuhalten, dass beide Verfahren Schwächen aufweisen. Der Wirkungspfadansatz erfordert die Kenntnis umfangreicher Daten zur Menge der bei den einzelnen vor- und nachgelagerten Prozessen emittierten Luftschadstoffen, den betroffenen Personen und Sachgütern sowie der Fauna und Flora. Die Erhebung dieser Daten ist aufgrund der Vielzahl der mit den dargestellten Prozessen verbundenen Einzelaktivitäten an unterschiedlichen Standorten nahezu unmöglich; sie werden vielmehr abgeschätzt. Da die dem Ökoinventaransatz zugrunde liegenden Emissionsdaten in den genannten Studien aus lizenzrechtlichen Gründen nur z. T. dargestellt werden dürfen, verlieren dessen Ergebnisse aufgrund mangelhafter Nachvollziehbarkeit im Vergleich zu den Ergebnissen des Wirkungspfadansatzes an Transparenz.

[HUCKESTEIN, VERRON 1996] entwickelten einen Ansatz zur Abschätzung der aus Wasser- und Bodenverschmutzungen durch Fahrzeugentsorgung resultierenden externen Kosten. Grundlage für die Untersuchung sind Annahmen über die bei den Gemeinden anfallenden Kosten zur Sanierung von stillgelegten Schrottplätzen. Die Studie basiert somit auf dem Schadenskostenansatz und kommt zu dem Ergebnis, dass pro Jahr ca. 1.000.000.000 DM externe Kosten anfallen. Da der Studie nicht zu entnehmen ist, zu welchem Preisstand die Kos-

ten angegeben wurden, wird dieser vereinfachend mit dem Publikationsjahr 1995 gleichgesetzt. Daraus ergäben sich zum Preisstand 2004 jährliche Kosten in Höhe von ca. 579.000.000 €.

4.7.3.2 Gewählte Bewertungsmethodik

Für die Berechnung externer Kosten der Wirkungen von bei vor- und nachgelagerten Prozessen emittierten Luftschadstoffen wird der Ökoinventaransatz von **[SCHREYER ET AL. 2004A]** gewählt, da eine sinnvolle Schätzung der für die Anwendung des Wirkungspfadansatzes notwendigen Datenbasis nicht möglich erscheint und dem Ökoinventaransatz nach **[MAIBACH ET AL. 2000]** ältere Daten zugrunde liegen. Die verwendeten Kostensätze entsprechen denen des Kostenbereichs "Kosten durch Luftverschmutzung" und basieren somit auf dem Schadenskostenansatz.

Zur Ermittlung externer Kosten von Klimagasen, die bei vor- und nachgelagerten Prozessen freigesetzt werden, wird der Ökoinventaransatz nach **[SCHREYER ET AL. 2006]** angewendet, da er eine Vielzahl von Klimagasen berücksichtigt, aktueller als die Verfahren nach **[MAIBACH ET AL. 2000]** und **[SCHREYER ET AL. 2004A]** ist und die Anwendung des Wirkungspfadansatzes aufgrund der dazu notwendigen Daten nicht durchführbar ist. Zur Bewertung der emittierten Klimagasmengen wird auf den im Kapitel 4.3.3.2 gewählten Kostensatz zurückgegriffen, der mittels des Vermeidungskostenansatzes bestimmt wurde.

Für die Berücksichtigung der Wasser- und Bodenverschmutzungen durch Fahrzeugentsorgung steht nur das Verfahren nach **[HUCKESTEIN, VERRON 1996]** zur Verfügung. Dieses Verfahren wird daher in dieser Arbeit angewendet.

4.7.4 Mengengerüst und Allokationsrechnung

Für die Luftschadstoffkosten vor- und nachgelagerter Prozesse wird die Fahrzeugklasseneinteilung der Tabelle 4-29 zunächst angepasst. Diese Anpassung wird – wie auch bei anderen Kostenbereichen - anhand der Fahrleistungen⁷¹ vorgenommen. Daraus ergeben sich die in Tabelle 4-32 dargestellten prozentualen Luftverschmutzungskosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse.

⁷¹ s. Anhang E

Tabelle 4-32: Kosten der bei vor- und nachgelagerten Prozessen emittierten Luftschadstoffe als Prozentangaben bezogen auf die Kosten des Kostenbereichs "Kosten durch Luftverschmutzung", eigene Berechnungen nach Daten von [Schreyer et al. 2004a]

Fahrzeugklassen nach Wegekostenrechnung	Luftverschmutzung [%] (Prozentsatz der Luftverschmutzungskosten)
Sonstige Fahrzeuge	15
Lkw ≥ 12 t zGG	16

Die abschnitts- und fahrleistungsbezogenen Kosten ergeben sich durch Multiplikation der Prozentangaben mit den entsprechenden Kosten des Kostenbereichs "Kosten durch Luftverschmutzung".

Ebenso werden die **fahrzeugbezogenen** Klimagasemissionen der Tabelle 4-30 transformiert⁷². Daraus resultieren für die in dieser Arbeit gewählten Fahrzeugklassen die in Tabelle 4-33 angegebenen Werte. Da für die in Tabelle 4-30 verwendete Einteilung von Lkw keine Fahrleistungsdaten vorlagen, wurden vereinfachend die im Anhang E dargestellten Daten verwendet.

Tabelle 4-33: Klimagasemissionen fahrzeugbezogener vor- und nachgelagerter Prozesse unter Beachtung der gewählten Fahrzeugklasseneinteilung, eigene Berechnungen nach Daten von [Schreyer et al. 2006]

Fahrzeugklassen nach Wegekostenrechnung	Emissionen im Produktlebenszyklus [g/Fz*km]
Sonstige Fahrzeuge	34,7
Lkw ≥ 12 t zGG	88,1

Unter Verwendung des Kostensatzes aus Kapitel 4.3.3.2 ergeben sich die in Tabelle 4-34 dargestellten fahrleistungs- und fahrzeugklassenbezogenen Werte. Eine abschnittsbezogene Allokation entfällt, da die Menge der bei fahrzeugbezogenen vor- und nachgelagerten Prozessen freigesetzten Klimagase nicht von der Charakteristik des befahrenen Abschnitts abhängt.

Tabelle 4-34: Klimakosten fahrzeugbezogener vor- und nachgelagerter Prozesse, eigene Berechnungen nach Daten von [Schreyer et al. 2006]

Fahrzeugklassen nach Wegekostenrechnung	Klimakosten [ct/Fz*km]
Sonstige Fahrzeuge	0,36
Lkw ≥ 12 t zGG	0,93

Die **infrastrukturbezogenen** Klimagasemissionen vor- und nachgelagerter Prozesse werden in dieser Arbeit gleichmäßig auf alle Fahrzeuge verteilt, da keine plausible Begründung für einen höheren Beitrag der ein oder anderen Fahrzeugklasse zu diesen Emissionen vorliegt. Die Höhe der abschnitts- und fahrleistungsbezogenen Kosten ergibt sich durch Multiplikation des Emissions-

⁷² s. Anhang E

wertes in Höhe von 17 kg CO₂-Äquivalente/a*m Infrastruktur mit dem Kostensatz des Kapitels 4.3.3.2 und Division durch die transformierten DTV nach **[KATHMANN ET AL. 2007]**.

Zur Ermittlung der Klimagasemissionen, die im Zusammenhang mit **kraftstoff-bezogenen** vor- und nachgelagerten Prozessen entstehen, werden abermals die Emissionskataster⁷³ herangezogen. Sie beinhalten für Autobahnen i. d. R. abschnittsbezogene Angaben zum Kraftstoffverbrauch in Gramm bzw. Kilogramm. Damit werden abschnittsbezogene Kraftstoffverbrauchswerte berechnet. Um auch eine fahrzeugklassenbezogene Allokation durchzuführen, wird dieser Kraftstoffverbrauch unter Berücksichtigung des transformierten SV-Anteils und des Verhältnisses des Kraftstoffverbrauchs nach **[KELLER ET AL. 2004]** für die Verkehrssituation "Autobahndurchschnitt" auf die beiden betrachteten Fahrzeugklassen entsprechend der bisherigen Vorgehensweise aufgeteilt⁷⁴ und unter Verwendung von fahrzeugklassenbezogenen Kraftstoffdichten, die aus den durchschnittlichen Fahrleistungen der diesel- und benzingetriebenen Fahrzeuge der verwendeten Fahrzeugklassen bestimmt werden⁷⁵, in Volumeneinheiten transformiert. Weiterhin werden die in Tabelle 4-31 angegebenen Daten zum Klimagasausstoß entsprechend den Anteilen der Kraftstoffarten pro verwendeter Fahrzeugklasse in die in Tabelle 4-35 dargestellten Werte umgewandelt. Damit werden dann die Klimagasemissionen ermittelt, die mit dem im Kostenbereich "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel" bestimmten Kostensatz bewertet werden.

Tabelle 4-35: Transformierte Klimagasemissionen bei Gewinnung, Transport und Bearbeitung von Treibstoffen, eigene Berechnungen nach Daten von [Schreyer et al. 2006]

	Emissionen bei Gewinnung, Transport und Bearbeitung von Treibstoffen	
	Sonstige Fahrzeuge	Lkw ≥ 12 t zGG
g/l Treibstoff	559	500

Zur fahrleistungsbezogenen Allokation werden abermals transformierte SV-Anteile von **[KATHMANN ET AL. 2007]** verwendet.

Die fahrleistungsbezogenen Kosten für die Wasser- und Bodenverschmutzung durch Fahrzeugentsorgung ergeben sich durch Division der jährlichen externen Gesamtkosten in Höhe von 579.000.000 € durch die Gesamtfahrleistungen des

⁷³ s. Kapitel 4.3.4

⁷⁴ s. Anhang E

⁷⁵ s. Anhang E

Jahres 2004, die [RADKE 2007] zu 696.400.000.000 Fz*km beziffert, zu 0,08 ct/Fz*km. Dabei wird angenommen, dass unabhängig von der Fahrzeugklasse gleiche Verschmutzungswirkungen pro Fahrzeug entstehen. Eine abschnittsbezogene Allokation entfällt, da keine Einflüsse der Eigenschaften der Abschnitte auf die Höhe der Kosten zu vermuten sind.

4.8 Zusammenfassung der Berechnungsmethodik

Abschließend wird die hier entwickelte Berechnungsmethodik mit allen Kostenbereichen in Tabelle 4-36 zusammenfassend dargestellt. Der Tabelle ist für jeden berücksichtigten Kostenbereich zu entnehmen, welche Wirkungen erfasst bzw. mit welchen Verfahren bewertet wurden, welche Daten als Mengengerüst herangezogen wurden und auf welcher Basis die Kostenallokation durchgeführt wurde. In der Berechnungsmethodik unberücksichtigte Kostenbereiche sind in der Aufstellung nicht vertreten.

Tabelle 4-36: Zusammenfassung des Berechnungsmethodik

Kostenbereich	Unfallkosten	Lärmkosten	Kosten durch Beiträge zum Klimawandel
Erfasste/Bewertete Wirkungen	Getötete Schwer verletzte Leicht verletzte Sachschäden	Gesundheitsschäden (Ischämische Herzkrankheiten und Hypertonie) Belästigende Wirkungen	Vielfältige Wirkungen, die auf den anthropogenen Treibhauseffekt zurückgeführt werden
Bewertungsverfahren	Schadenskostenansatz für alle Wirkungen	Schadenskostenansatz Marktdivergenzanalyse	Vermeidungskostenansatz
Kostenbereichs- spezifisches Mengengerüst	Unfälle der Kategorie 1 bis 4 und der Kategorie 6	Einwohnerbezogene Schall- druckpegel aus den im Zuge der EU-Richtlinie 2002/49/EG erstellten Lärmkarten	Emissionen der Klimagase CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O
Basis der Kosten- lokation	Abschnitts- und fahrzeug- klassenbezogen: Unfallda- ten Fahrleistungsbezogen: allgemeines Mengengerüst	Abschnittsbezogen: Zuordnung über kürzesten Luftlinienab- stand zwischen Wohngebäude und Abschnitten Fahrzeugklassenbezogen: Erkenntnisse hinsichtlich der Lärmemissionen vorbeifahrenden Fahrzeuge Fahrleistungsbezogen: allge- meines Mengengerüst	Abschnittsbezogen: Emissionsdaten Fahrzeugklassenbezogen: Durch- schnittliche Emissionen der Fahr- zeugklassen Fahrleistungsbezogen: allgemeines Mengengerüst

Kostenbereich	Kosten durch Luftverschmutzung	Kosten für Natur und Landschaft	Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung
Erfasste/Bewertete Wirkungen	Gesundheitsschäden (Endpunkte mit tödlichem Ausgang, Endpunkte mit Krankenhausaufenthalt und sonstige Endpunkte) Schäden an der Vegetation (Schäden in der Forst- und Landwirtschaft)	Bewertung der Beeinträchtigung der Flächenfunktion über Kosten zur Wiederherstellung des Ursprungszustands	Bewertung von Gesundheitsschäden (Unterschiedliche Wirkungen von Schwermetallen und Streusalz) über Kosten zur Wiederherstellung des Ursprungszustands
Bewertungsverfahren	Schadenskostenansatz für alle Wirkungen	Schadenskostenansatz	Schadenskostenansatz
Kostenbereichs-spezifisches Mengengerüst	Einwohnerbezogene Immissionen des Schadstoffs PM ₁₀ (Leit-schadstoff) Emissionen der Schadstoffe NOX und VOC	Versiegelte und zusätzlich beeinflusste Fläche	Verschmutzte Bodenmassen
Basis der Kostenallokation	Abschnittsbezogen: Emissionsdaten Fahrzeugklassenbezogen: Durchschnittliche Emissionen der Fahrzeugklassen Fahrleistungsbezogen: allgemeines Mengengerüst	Abschnittsbezogen: Flächendaten Fahrzeugklassenbezogen: keine Unterschiede zwischen Fahrzeugen der beiden Fahrzeugklassen Fahrleistungsbezogen: allgemeines Mengengerüst	Abschnittsbezogen: Daten über Bodenmassen Fahrzeugklassenbezogen: keine Unterschiede zwischen Fahrzeugen der beiden Fahrzeugklassen Fahrleistungsbezogen: allgemeines Mengengerüst

Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse					
Kostenbereich	Wirkung zusätzlich freigesetzter Luftschadstoffe (s. Kostenbereich Luftverschmutzung)	Wirkung von durch fahrzeugbezogene vor- und nachgelagerte Prozesse freigesetzten Klimagasen	Wirkung von durch kraftstoffbezogene vor- und nachgelagerte Prozesse freigesetzten Klimagasen	Wirkung von durch infrastrukturbezogene vor- und nachgelagerte Prozesse freigesetzten Klimagasen	Bewertung von Boden- und Wasser- verschmutzung durch Fahrzeugentsorgung über Kosten zur Wiederherstellung des Ursprungszustands
Bewertungsverfahren	Schadenskostenansatz	Vermeidungskostenansatz	Vermeidungskostenansatz	Vermeidungskostenansatz	Schadenskostenansatz
Kostenbereichs- spezifisches Mengengerüst	Entfällt, Abschätzung über Prozentangaben bezogen auf die Kosten des Bereichs Luftver.	Fahrleistungsbezogene Emissionsfaktoren	Kraftstoffverbrauchsbezogene Emissionsfaktoren und Kraftstoffverbrauch	Längenbezogener Emissionsfaktor	Nicht erforderlich
Basis der Kostenallokation	s. Kostenbereich Luftverschmutzung	Abschnitts-, fahrzeugklassen- fahrleistungsbezogen: Emissionsfaktoren	Abschnittsbezogen: Kraftstoffverbrauch fahrzeugklassenbezogen: durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch der fahrzeugklassen fahrleistungsbezogen: allgemeines Mengengerüst	Abschnittsbezogen: Emissionsfaktor fahrzeugklassenbezogen: keine Unterschiede zwischen fahrzeugklassen fahrleistungsbezogen: allgemeines Mengengerüst	Abschnittsbezogen: entfällt fahrzeugklassenbezogen: keine Unterschiede zwischen fahrzeugklassen fahrleistungsbezogen: allgemeines Mengengerüst

5 Anwendung der Berechnungsmethodik am Beispiel des Freistaats Thüringen

5.1 Einleitung

Mit der entwickelten Berechnungsmethodik werden für das Autobahnnetz des Freistaats Thüringen beispielhaft externe Kosten des Verkehrs berechnet, um die Anwendbarkeit der Methodik nachzuweisen und den Wertebereich der fahrleistungsbezogenen Kosten bezogen auf Unterschiede zwischen verschiedenen Abschnitten abzuschätzen.

Das zur Ermittlung der Kosten herangezogene Beispielnetz wird durch zwei Einschränkungen definiert: Erstens wird nur das Autobahnnetz Thüringens betrachtet, das zum 31.12.2003 für den Verkehr freigegeben war, da das kosten-spezifische Mengengerüst der Unfallkosten auch Daten aus dem Jahr 2004 beinhaltet und damit Entwicklungen des Netzes ab dem 01.01.2004 nicht berücksichtigt werden können. Zweitens zeichnet sich dieses Netz aufgrund von bereits begonnenen, aber noch nicht abgeschlossenen Autobahnneubauprojekten dadurch aus, dass einzelne Abschnitte noch keine Verbindung zum übrigen Autobahnnetz Deutschlands aufweisen. Dieser Umstand trifft auf Abschnitte der A 38 und A 73 zu. Da davon ausgegangen werden muss, dass sich die Fahrleistungen und damit die externen Kosten auf diesen Abschnitten nach Fertigstellung der gesamten Autobahnen A 38 und A 73 wesentlich ändern werden, erscheint es dem Verfasser noch nicht sinnvoll, für diese Abschnitte Kostenberechnungen anzustellen. Sie werden daher bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Damit ergibt sich für die Pilotanwendung das in Abbildung 5-1 dargestellte Netz. Es besteht aus 47 Abschnitten der Autobahnen A 4, A 9 und A 71, die jeweils durch Landesgrenzen oder Autobahnanschlussstellen begrenzt sind, und weist insgesamt eine Länge von 304,685 km bei einer Gesamtfahrleistung von 4.789.537.556 Fz*km (Transformierte Werte nach **[KATHMANN ET AL. 2007]**: Sonstige Fahrzeuge 4.212.057.308 Fz*km, Lkw ≥ 12 t zGG: 577.480.248 Fz*km) im Jahr 2005 auf. Im Anhang F sind die Abschnitte mit Angabe der Länge, der DTV und des Anteils der Lkw ≥ 12 t zGG an der DTV (transformierter SV-Anteil) tabelliert.

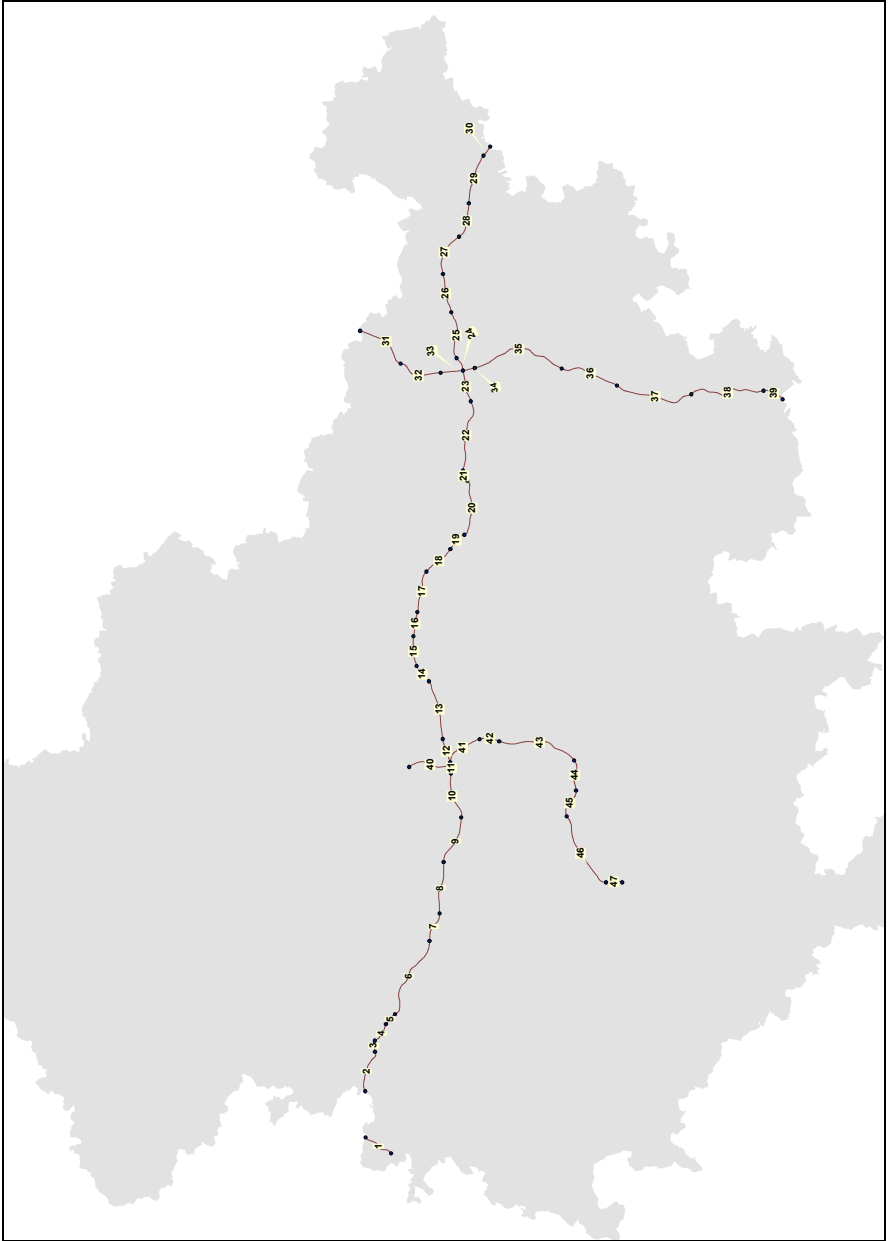


Abbildung 5-1: Darstellung des Beispielnetzes mit nummerierten Abschnitten, eigene Darstellung

5.2 Berechnung der Unfallkosten

Vom Thüringer Landesamt für Statistik (TLS) wurden detaillierte Unfalldaten der Unfallkategorie 1 bis 4 und der Kategorie 6 der Jahre 2004, 2005 und 2006 für das Beispielnetz bereitgestellt. Damit lag das mit den entwickelten Kostensätzen zu bewertende, kostenbereichsspezifische Mengengerüst vor. Das Ergebnis der Berechnungen ist in Anhang F und auszugsweise in Tabelle 5-1 angegeben.

Tabelle 5-1: Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Unfallkosten für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen

	Lkw ≥ 12 t zGG	Sonstige Fahrzeuge
Jährliche Gesamtkosten [€/a]	2.533.830	5.459.643
Maximale fahrleistungs- bezogene Durch- schnittskosten [ct/Fz*km]	2,16 (AS Eisenberg – AS Bad Klosterlaus- nitz)	0,34 (AS Stadtroda – AK Hermsdorfer Kreuz)
Minimale fahrleistungs- bezogene Durch- schnittskosten [ct/Fz*km]	0,0003 (AS Erfurt- Bindersleben – AK Erfurt)	0,0012 (AS Oberhof – AS Suhl/Zella-Mehlis)
Mittlere fahrleistungsbe- zogene Durchschnitts- kosten [ct/Fz*km]	0,41	0,12

5.3 Berechnung der Lärmkosten

Im Zuge der Umsetzung der EU-Richtlinie **[KOM 2002]** wurden von der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) gesonderte Lärmberechnungen für die in Thüringen verlaufenden Autobahnen auf Basis der bei **[KATHMANN ET AL. 2007]** angegebenen DTV angestellt und mit Daten von 45.135 autobahnnahen Gebäuden des Thüringer Landesamtes für Vermessung und Geoinformation (TLVermGEO) überlagert. **[RÄTHE, ZACHARIAS 2009]** ermittelten somit für die einzelnen Gebäude u. a. Daten über die Anzahl der in ihnen wohnenden Personen und den mittleren Schalldruckpegel L_{DEN} an der Außenfassade. Damit steht das für die Ermittlung der externen Lärmkosten notwendige kostenbereichsspezifische Mengengerüst zur Verfügung.

Tabelle 5-2 zeigt ausgewählte Ergebnisse der Berechnungen, die außerdem im Anhang F detailliert dargestellt sind.

Tabelle 5-2: Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Lärmkosten für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen

	Lkw ≥ 12 t zGG	Sonstige Fahrzeuge
Jährliche Gesamtkosten [€/a]	1.922.941	1.763.111
Maximale fahrleistungs- bezogene Durchschnitts- kosten [ct/Fz*km]	2,94 (AS Eisenach-Mitte – AS Eisenach-Ost)	0,38 (AS Eisenach-Mitte – AS Eisenach-Ost)
Minimale fahrleistungs- bezogene Durchschnitts- kosten [ct/Fz*km]	0,00 (AS Ilmenau-Ost – AS Ilmenau-West und AS Gräfenroda – AS Oberhof)	0,00 (AS Ilmenau-Ost – AS Ilmenau-West und AS Gräfenroda – AS Oberhof)
Mittlere fahrleistungsbe- zogene Durchschnitts- kosten [ct/Fz*km]	0,33	0,04

5.4 Berechnung der Kosten durch Beiträge zum Klimawandel

Als kostenbereichsspezifisches Mengengerüst konnte auf das Emissionskataster von **[NIEDERAU ET AL. 2008]** für den Freistaat Thüringen zurückgegriffen werden. Die dort für Autobahnen getrennt nach Abschnitten tabellierten Emissionen der Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O wurden unter Anwendung des Verfahrens nach **[KELLER ET AL. 2004]** bestimmt. Dazu wurden notwendige Eingangsgrößen wie DTV, Längsneigung, Flottenmix und die als "Verkehrssituation" bezeichneten Kombinationen aus Verkehrszustand und zulässiger Höchstgeschwindigkeit differenziert für jeden Abschnitt für das Analysejahr 2005 ermittelt und der Berechnung zugrunde gelegt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5-3 auszugsweise und im Anhang F detailliert dargestellt.

Tabelle 5-3: Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch Beiträge zum Klimawandel für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen

	Lkw ≥ 12 t zGG	Sonstige Fahrzeuge
Jährliche Gesamtkosten [€/a]	48.274.076	109.588.691
Maximale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	15,21 (AS Eisenach-West – AS Eisenach- Mitte)	4,78 (AS Eisenach-West – AS Eisenach- Mitte)
Minimale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	7,12 (AS Oberhof – AS Suhl/Zella-Mehlis)	2,24 (AS Oberhof – AS Suhl/Zella-Mehlis)
Mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	8,36	2,60

5.5 Berechnung der Kosten durch Luftverschmutzung

Das von **[NIEDERAU ET AL. 2008]** erstellte Emissionskataster des Freistaats Thüringen konnte wiederum als kostenbereichsspezifisches Mengengerüst genutzt werden, da in ihm u. a. für das Analysejahr und die betrachteten Autobahnen abschnittsbezogene Jahresemissionen der Schadstoffe PM₁₀, NO_x, Benzol, Toluol und Xylol angegeben sind. Diese Ausstoßmengen wurden für das Analysejahr ebenfalls auf der Grundlage der Verkehrsdaten von **[KATHMANN ET AL. 2007]** ermittelt. Zur Berechnung der Kosten durch Gesundheitsschäden wurden die Emissionswerte von PM₁₀ gemäß den Erläuterungen des Kapitels 4.4.6.1 auf die Fahrzeugklassen aufgeteilt, unter Anwendung des Verfahrens nach **[FGSV 2005]**⁷⁶ in entfernungsabhängige Immissionswerte transformiert und mit den aus dem Lärmmodell vorliegenden Einwohnerdaten überlagert. Im Ergebnis lagen für jeden Abschnitt einwohnerfeine Immissionsdaten vor, die zusammen mit den Dosis-Wirkungsbeziehungen der Tabelle 4-19 Grundlage für die Berechnung der Anzahl der betrachteten Endpunkte waren. Diese Endpunkte wurden abschließend mit den zugehörigen Kostensätzen bewertet und führten zu den in Tabelle 5-4 und in Anhang F gezeigten Ergebnissen.

⁷⁶ Unter Berücksichtigung einer jahresmittleren Windgeschwindigkeit von ca. 3,5 m/s für Thüringen gemäß [Kunze 2009].

Tabelle 5-4: Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch Gesundheits-schäden infolge von Luftverschmutzung für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen

	Lkw ≥ 12 t zGG	Sonstige Fahrzeuge
Jährliche Gesamtkosten [€/a]	49.626.075	55.616.615
Maximale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	415,10 (AS Jena-Göschwitz – AS Jena-Lobeda)	63,86 (AS Jena-Göschwitz – AS Jena-Lobeda)
Minimale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,00 (verschiedene Abschnitte der A 4 und A 71)	0,00 (verschiedene Abschnitte der A 4 und A 71)
Mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	8,59	1,32

Hinsichtlich der Wirkungen auf die Vegetation wurden die abschnittsbezogenen Emissionen der Schadstoffe NO_x, Benzol, Toluol und Xylol auf die betrachteten Fahrzeugklassen aufgeteilt. Weiterhin gingen in die Kostenermittlung der Wert der landwirtschaftlichen Produktion Thüringens⁷⁷ des Berichtsjahres 2004/2005 (laut [TMLNU 2009]: 390.404.460 €) sowie die Gesamt- und Waldfläche des Freistaats (nach [TLS 2009]: 16.171,96 km² bzw. 5.156,75 km²) ein, deren Ergebnisse in Tabelle 5-5 und im Anhang F dargestellt sind.

Tabelle 5-5: Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch Schädigung der Vegetation infolge von Luftverschmutzung für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen

	Lkw ≥ 12 t zGG	Sonstige Fahrzeuge
Jährliche Gesamtkosten [€/a]	586.077	394.490
Maximale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,260 (AS Eisenach-West – AS Eisenach-Mitte)	0,024 (AS Eisenach-West – AS Eisenach-Mitte)
Minimale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,049 (AS Arnstadt-Süd – AS Ilmenau-Ost)	0,004 (AS Arnstadt-Süd – AS Ilmenau-Ost)
Mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,101	0,001

5.6 Berechnung der Kosten für Natur und Landschaft

Die externen Kosten für Natur und Landschaft werden entsprechend den Festlegungen des Kapitels 4.5.4 gleichmäßig auf die Fahrzeuge der beiden Fahrzeug-

⁷⁷ Da unklar ist, welche Produkte zur "landwirtschaftlichen Produktion" gezählt werden und der Begriff weder bei [Maibach et al. 2000] noch bei [Maibach et al. 1996] definiert ist, wird im Sinne einer aus Verursachersicht günstigen Kostenschätzung nur die Pflanzenproduktion betrachtet.

klassen aufgeteilt. Die ermittelten fahrleistungsbezogenen Kosten entsprechen daher einander. Das kostenbereichsspezifische Mengengerüst mit Angaben zur Anzahl der Fahrstreifen der Abschnitte ist im Rahmen von Befahrungen erhoben worden. Wesentliche Ergebnisse sind in Tabelle 5-6 aufgelistet, während Anhang F abermals detaillierte Angaben enthält.

Tabelle 5-6: Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten für Natur und Landschaft der Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen

	Lkw ≥ 12 t zGG und Sonstige Fahrzeuge
Jährliche Gesamtkosten [€/a]	10.215.013
Maximale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,59 (AS Gräfenroda – AS Oberhof)
Minimale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,14 (AS Jena-Göschwitz – AS Jena-Lobeda)
Mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,21

5.7 Berechnung der Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung

Die Kostenermittlung ähnelt dem Vorgehen zur Berechnung der Kosten für Natur und Landschaft und basiert auf dem gleichen Mengengerüst. Eine fahrzeugklassenbezogene Differenzierung entfällt für diesen Kostenbereich ebenfalls. Wesentliche Ergebnisse sind Tabelle 5-7 sowie Anhang F zu entnehmen.

Tabelle 5-7: Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen

	Lkw ≥ 12 t zGG und Sonstige Fahrzeuge
Jährliche Gesamtkosten [€/a]	2.433.581
Maximale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,14 (AS Gräfenroda – AS Oberhof)
Minimale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,03 (AS Jena-Göschwitz – AS Jena-Lobeda)
Mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,05

5.8 Berechnung der Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse

Zum besseren Verständnis werden die einzelnen Bestandteile der Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse separat behandelt:

Die Kosten durch Emissionen von Luftschadstoffen aller vor- und nachgelagerter Prozesse ergaben sich durch Multiplikation der in Tabelle 4-32 angeführten Prozentangaben mit den Kosten durch Luftverschmutzungen (s. Kapitel 5.5). Die maßgebenden Ergebnisse sind in Tabelle 5-8 sowie Anhang F dargestellt.

Tabelle 5-8: Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse (Luftverschmutzung) für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen

	Lkw ≥ 12 t zGG	Sonstige Fahrzeuge
Jährliche Gesamtkosten [€/a]	8.033.944	8.401.666
Maximale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	66,43 (AS Jena-Göschwitz – AS Jena-Lobeda)	9,58 (AS Jena-Göschwitz – AS Jena-Lobeda)
Minimale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,00 (verschiedene Abschnitte der A 4 und A 71)	0,00 (verschiedene Abschnitte der A 4 und A 71)
Mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	1,39	0,20

Die im Zusammenhang mit vor- und nachgelagerten Prozessen freigesetzten Klimagase erzeugen fahrzeug-, infrastruktur- und kraftstoffbezogene Kosten. Während zur Ermittlung der fahrzeug- und infrastrukturbezogenen Kosten keine kostenspezifischen Mengengerüste notwendig waren, wurde hinsichtlich der kraftstoffbezogenen Kosten auf abschnittsbezogen vorliegende Kraftstoffverbrauchswerte des Jahres 2005 von [NIEDERAU ET AL. 2008] zurückgegriffen, die u. a. auf Daten von [KATHMANN ET AL. 2007] basieren. Tabelle 5-9, Tabelle 5-10 und Tabelle 5-11 enthalten wesentliche Ergebnisse der Kostenberechnung, die im Anhang F ausführlicher dargestellt sind.

Tabelle 5-9: Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse (fahrzeugbezogene Klimakosten) für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen

	Lkw ≥ 12 t zGG	Sonstige Fahrzeuge
Jährliche Gesamtkosten [€/a]	5.320.160	15.203.273
Fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten ⁷⁸ [ct/Fz*km]	0,93	0,36

Tabelle 5-10: Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse (infrastrukturbezogene Klimakosten) für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen

	Lkw ≥ 12 t zGG und Sonstige Fahrzeuge
Jährliche Gesamtkosten [€/a]	533.510
Maximale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,0342 (AS Gräfenroda – AS Oberhof)
Minimale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,0076 (AS Bad Klosterlausnitz – AK Hermsdorfer Kreuz)
Mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	0,01

Tabelle 5-11: Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse (kraftstoffbezogene Klimakosten) für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen

	Lkw ≥ 12 t zGG	Sonstige Fahrzeuge
Jährliche Gesamtkosten [€/a]	9.046.641	24.866.699
Maximale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	2,36 (AS Eisenach-West – AS Eisenach-Mitte)	0,90 (AS Eisenach-West – AS Eisenach-Mitte)
Minimale fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	1,36 (AS Arnstadt-Süd – AS Ilmenau-Ost)	0,52 (AS Arnstadt-Süd – AS Ilmenau-Ost)
Mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten [ct/Fz*km]	1,57	0,59

Zur Ermittlung der Kosten durch Fahrzeugentsorgung war ebenfalls kein kosten-spezifisches Mengengerüst erforderlich. Das Ergebnis der Berechnungen ist in Tabelle 5-12 und Anhang F angegeben.

⁷⁸ s. Kapitel 4.7.4

Tabelle 5-12: Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse (Fahrzeugentsorgung) für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen

	Lkw \geq 12 t zGG und Sonstige Fahrzeuge
Jährliche Gesamtkosten [€/a]	3.798.266
Fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten ⁷⁹ [ct/Fz*km]	0,08

5.9 Gesamtergebnis

Bei der Betrachtung der Gesamtergebnisse ist nochmals vor Augen zu führen, dass die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten externen Kosten aufgrund der getroffenen methodischen Festlegungen und der Problematik hinsichtlich der Quantifizierung einiger externer Kosten Untergrenzen der tatsächlich auftretenden Kosten darstellen.

Insgesamt entstanden demnach im Jahr 2005 bedingt durch den Straßenverkehr auf den Autobahnen im Freistaat Thüringen ca. 363.618.000 € externe Kosten. 236.288.000 € sind der Fahrzeugklasse "Sonstige Fahrzeuge" zuzurechnen, während die verbleibenden 127.330.000 € auf die Fahrzeugklasse "Lkw \geq 12 t zGG" entfallen. Daraus folgen für das Gesamtnetz mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten in Höhe von 5,6 ct/Fz*km für "Sonstige Fahrzeuge" und 22,0 ct/Fz*km für "Lkw \geq 12 t zGG". Der Abschnitt zwischen den Anschlussstellen Jena-Göschwitz und Jena-Lobeda zeichnet sich für beide Fahrzeugklassen durch die maximalen fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten aus (Sonstige Fahrzeuge: 77,0 ct/Fz*km; Lkw \geq 12 t zGG: 491,7 ct/Fz*km), während diese für "Sonstige Fahrzeuge" auf dem Abschnitt AS Wandersleben und AS Neudietendorf und für "Lkw \geq 12 t zGG" zwischen AS Arnstadt-Süd und AS Ilmenau-Ost minimal sind (3,7 ct/Fz*km bzw. 10,6 ct/Fz*km). Die Gesamtergebnisse sind überblicksweise in Abbildung 5-2 und Abbildung 5-3 und detailliert im Anhang F dargestellt. Bei der Darstellung in den folgenden Abbildungen ist zu beachten, dass zur optischen Differenzierung der anfallenden Kosten eine Kombination aus unterschiedlichen Farben (grün bis rot) und verschiedenen Balkenbreiten (insbesondere für Kosten im roten Bereich) gewählt wurde. Die Verwendung unterschiedlicher Farben erlaubt es, feine Unterschiede in den unteren Kostenbereichen (Sonstige Fahrzeuge: 0 – 8 ct/Fz*km; Lkw \geq 12 t zGG: 0 – 40 ct/Fz*km) darzustellen, während die Breite der Balken zur Darstellung der enormen Kostenschwankungen im oberen Wertebereich (roter Kostenbereich, Sonstige Fahrzeuge: 8 – 80 ct/Fz*km; Lkw \geq 12 t zGG: 40 – 500 ct/Fz*km) dient.

⁷⁹ Die fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten betragen für alle Abschnitte 0,08 ct/Fz*km (s. Kapitel 4.7.4).

Unter der Annahme, dass die ermittelten mittleren fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten den bundesweiten Durchschnittswerten aller Straßen entsprechen, ergäben sich bezogen auf die von **[RADKE 2007]** zu 696.400.000.000 Fz*km bezifferten Fahrleistungen des Jahres 2005 Gesamtkosten für Deutschland in Höhe von ca. 41.858.000.000 €/a. Diese Annahme ist jedoch in Frage zu stellen, da die in der vorliegenden Arbeit ausschließlich betrachteten Autobahnen sich aufgrund ihrer Charakteristika deutlich von z. B. Stadtstraßen unterscheiden. Da der Freistaat überwiegend ländliche Strukturen aufweist und nur wenige thüringische Autobahnabschnitte durch bebaute Gebiete führen, sind im Weiteren bei Anwendung der Berechnungsmethodik auf Autobahnen anderen Bundesländer mitunter höhere fahrleistungsbezogenen Kosten zu erwarten, da diese insbesondere von der Anzahl der Wohnbevölkerung im Umfeld der Autobahnen abhängen.

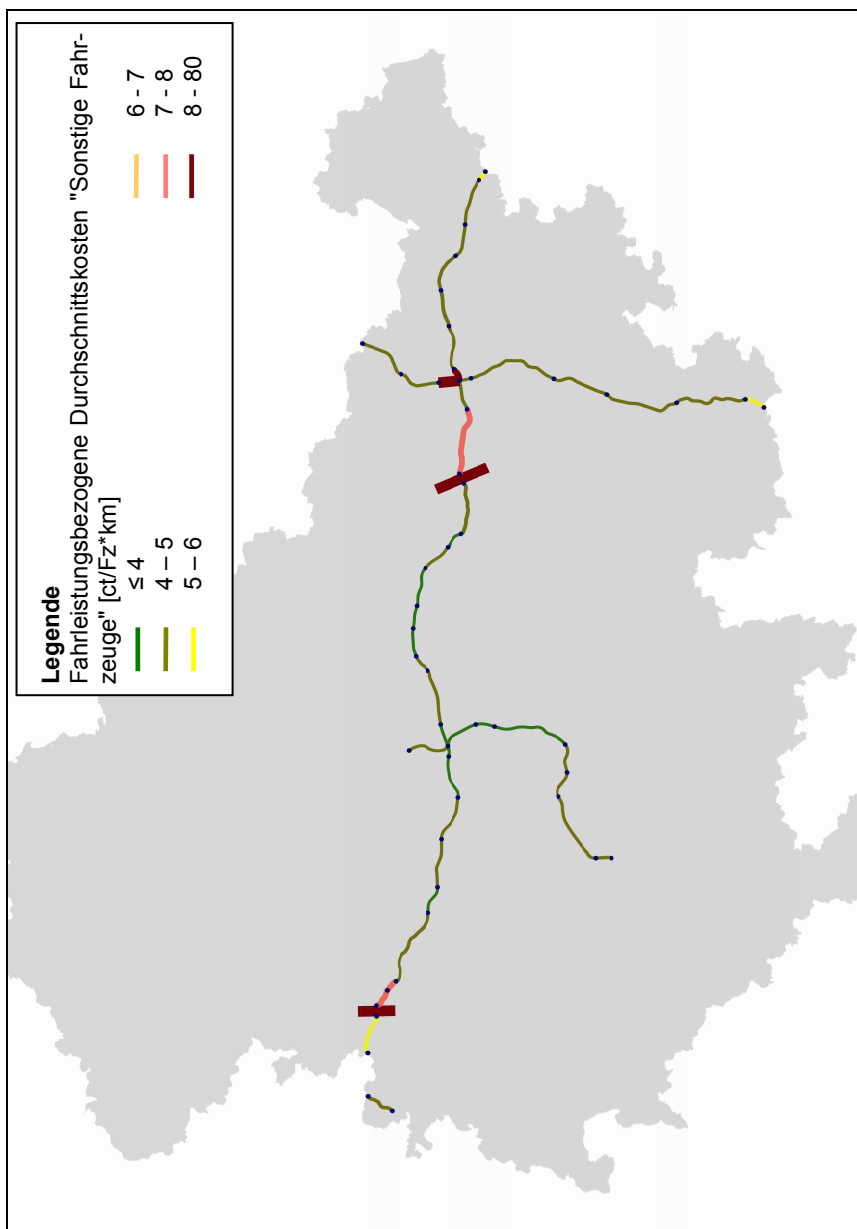


Abbildung 5-2: Grafische Darstellung des Gesamtergebnisses der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der Fahrzeugklasse "Sonstige Fahrzeuge" aller Abschnitte, eigene Darstellung

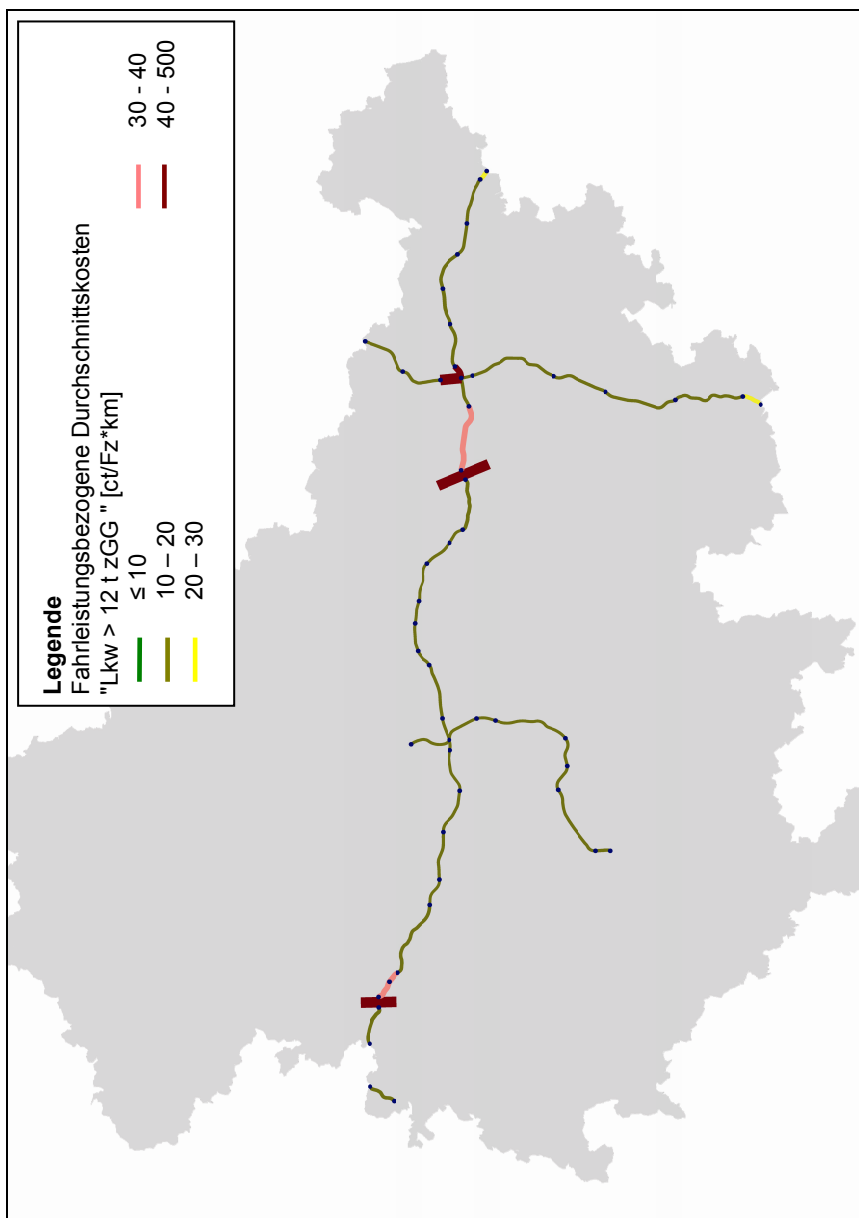


Abbildung 5-3: Grafische Darstellung des Gesamtergebnisses der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der Fahrzeugklasse "Lkw ≥ 12 t zGG" aller Abschnitte, eigene Darstellung

5.10 Analyse der Ergebnisse

Insgesamt erscheinen die ermittelten Ergebnisse für die einzelnen Abschnitte plausibel. Insbesondere Abschnitte, an denen eine höhere Anzahl von Wohnstandorten zu verzeichnen ist, weisen im Vergleich zu den übrigen Abschnitten höhere Kosten in den Kostenbereichen auf, bei denen die Anzahl der von Immissionen betroffenen Einwohner von Relevanz ist. Die mittleren fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der vorliegenden Arbeit bewegen sich innerhalb der von **[MAIBACH ET AL. 2007]** genannten Wertebereiche. Derartige Vergleiche sind allerdings nur bedingt aussagekräftig, da bspw. die in dieser Arbeit gewählte Fahrzeugklasseneinteilung und Abgrenzung von internen und externen Kosten nicht mit den Festlegungen anderer Studien übereinstimmt. Daher entfällt an dieser Stelle ein detaillierter Vergleich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen.

In Abbildung 5-4 sind die Anteile der Kostenbereiche an den Gesamtkosten prozentual dargestellt. Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass einzelne Kostenbereiche (insbesondere Kosten durch Beiträge zum Klimawandel und Kosten durch Luftverschmutzung) einen sehr hohen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben, während andere Kostenbereiche (Lärmkosten, Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung) nahezu vernachlässigbar sind.

Die geringen Kosten in den Bereichen "Unfallkosten" und "Lärmkosten" sind folgendermaßen zu interpretieren:

- Die ermittelten Unfallkosten fallen infolge der gewählten Differenzierung zwischen internen und externen Kosten im Vergleich zu anderen Studien, in denen externe Kosten auf der Basis einer personenbezogenen Abgrenzung definiert werden, deutlich geringer aus.
- Autobahnen sind systembedingt anbaufrei. Mit Ausnahme von Stadtautobahnen und innerstädtischen Streckenabschnitten von Fernautobahnen sind daher bspw. im Vergleich zu Stadtstraßen nur wenige Personen an ihren Wohnstandorten von auf Autobahnen erzeugtem Straßenverkehrslärm betroffen. Es muss daher vermutet werden, dass sich bei Ausweitung der Anwendung des hier entwickelten Verfahrens zur Ermittlung der Lärmkosten auf alle Straßen deutlich höhere fahrleistungsbezogene Kosten ergeben würden. Ein Vergleich der hier berechneten Ergebnisse mit denen anderer Studien, in denen Lärmkosten für alle Straßen ermittelt werden, ist als irreführend abzulehnen. Dieser Umstand gilt auch für den Bereich "Kosten durch Luftverschmutzung", allerdings treten die Unterschiede für Lärmkosten aufgrund des logarithmischen Zusammenhangs zwischen Verkehrsstärke und Schalldruckpegel stärker in Erscheinung.

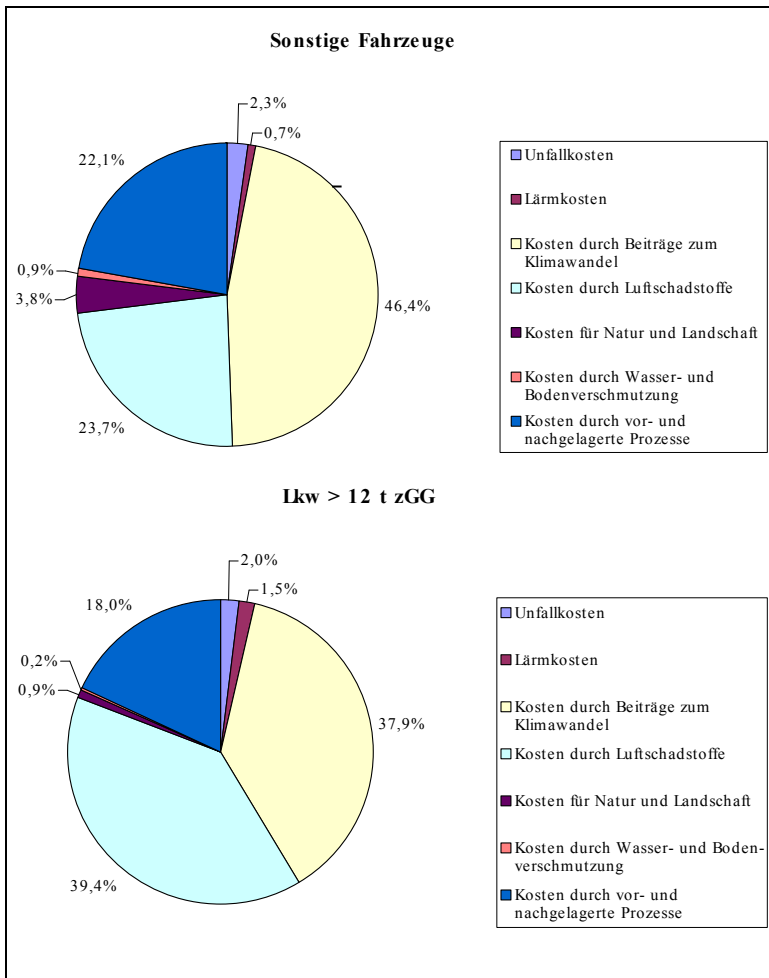


Abbildung 5-4: Prozentuale Aufteilung der jährlichen Gesamtkosten auf die Kostenbereiche, eigene Darstellung

Hinsichtlich des Kostenbereichs "Kosten durch Luftverschmutzung" ist weiterhin festzuhalten, dass die Kosten keineswegs gleichmäßig auf die Abschnitte aufgeteilt sind. Ca. 83 % bzw. 81 % der gesamten Kosten durch Luftverschmutzung entfallen auf die vier hinsichtlich dieser Kosten höchstbelasteten Abschnitte AS Jena-Göschwitz – AS Jena-Lobeda, AS Jena-Lobeda – AS Stadtroda, AS Bad Klosterlausnitz – AK Hermsdorfer Kreuz und AS Eisenach-West – AS Eisenach-

Mitte⁸⁰. Die Abschnitte zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich in direkter Umgebung zu Wohngebäuden befinden, dessen Bewohner dadurch einem erheblich höheren Risiko zusätzlicher Gesundheitsschäden ausgesetzt sind. Das Gesamtergebnis der Kostenrechnung hängt damit stark von den Kosten durch Luftschadstoffe dieser vier Abschnitte ab. Ihr Anteil an den gesamten externen Kosten beträgt ca. 20 % (Fahrzeugklasse "Sonstige Fahrzeuge") bzw. 32 % (Fahrzeugklasse "Lkw ≥ 12 t zGG"). Es wird deutlich, dass eine kontinuierliche Fortschreibung der Kostenberechnung notwendig ist, da Änderungen hinsichtlich der betroffenen Wohnbevölkerung oder der Fahrleistungen der vier Abschnitte weitreichende Folgen auf die Höhe der insgesamt auf thüringischen Autobahnen erzeugten externen Kosten haben. Diese Notwendigkeit ist insbesondere auch vor dem Hintergrund der aktuell im Bereich der Abschnitte AS Jena-Göschwitz – AS Jena-Lobeda und AS Eisenach-West – AS Eisenach-Mitte durchgeführten Einhausung bzw. Streckenverlegung zu sehen.

Beim abschnittsbezogenen Vergleich der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten pro Kostenbereich fällt weiterhin auf, dass innerhalb der Kostenbereiche "Unfallkosten", "Lärmkosten", "Kosten für Natur und Landschaft", "Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung" und "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel" keine starken Streuungen der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten auftreten. Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6 zeigen für die Fahrzeugklasse "Sonstige Fahrzeuge" Boxplots für diese Kostenbereiche, in denen jeweils der Mittelwert (mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten) als violette Querlinie, der Bereich zwischen dem oberen und unteren Quartil als weiße Box und die Minimal- und Maximalwerte als schwarze Querlinien dargestellt sind.

⁸⁰ s. Anhang F

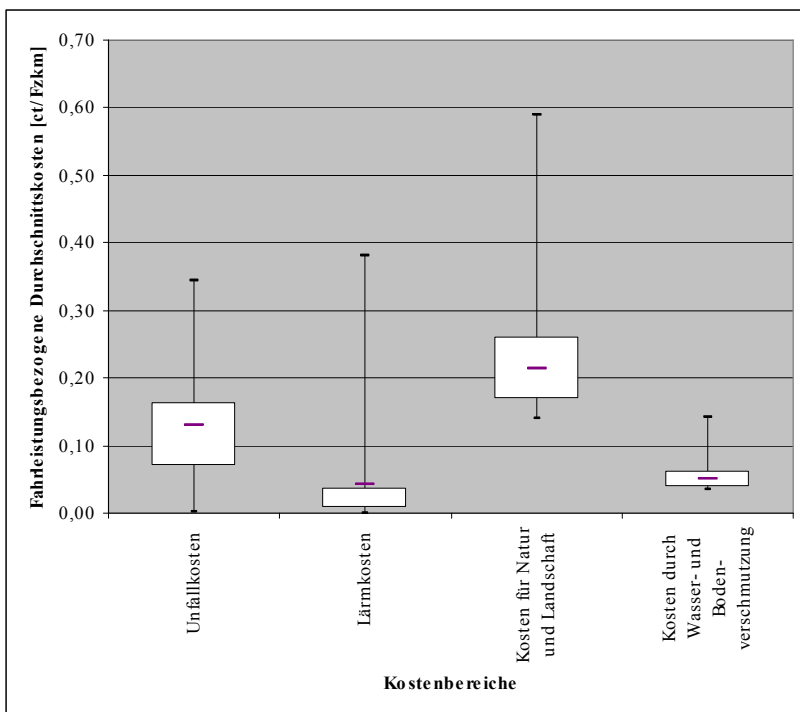


Abbildung 5-5: Boxplots der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der Kostenbereiche "Unfallkosten", "Lärmkosten", "Kosten für Natur und Landschaft" sowie "Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung", eigene Darstellung

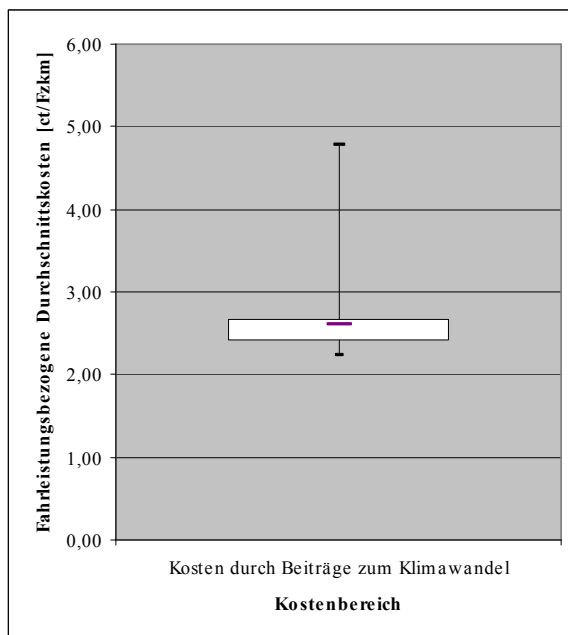


Abbildung 5-6: Boxplots der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der Kostenbereiche "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel", eigene Darstellung

Im Gegensatz dazu treten bei den Kostenbereichen "Kosten durch Luftverschmutzung" und "Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse" enorme Abweichungen auf, wie Abbildung 5-7 und Abbildung 5-8 wiederum beispielhaft für die Fahrzeugklasse "Sonstige Fahrzeuge" zu entnehmen ist. Beim Vergleich der Darstellungen ist die unterschiedliche Skalierung der Ordinate zu beachten. Für die Fahrzeugklasse "Lkw ≥ 12 t zGG" gilt ähnliches. Diese Analyse ist insbesondere für die Gestaltung eines möglichen Preissystems zur Internalisierung der externen Kosten von Relevanz.

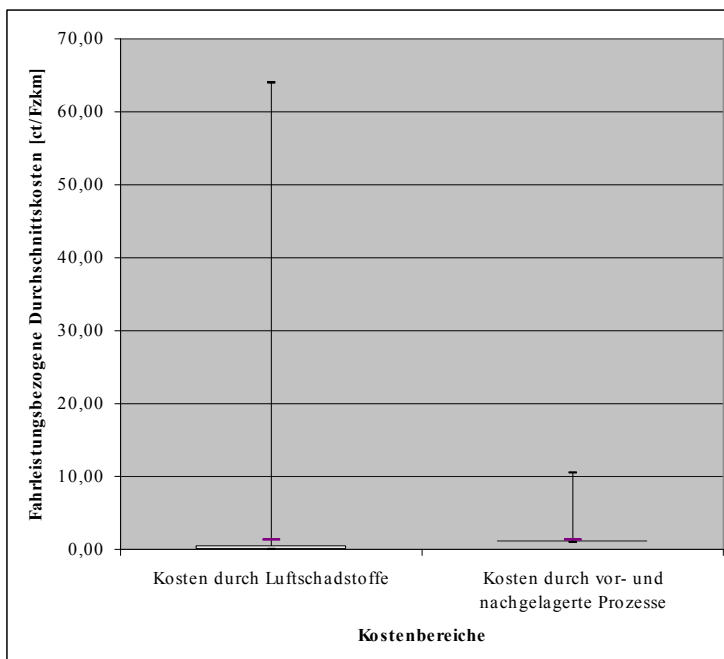


Abbildung 5-7: Boxplots der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der Kostenbereiche "Kosten durch Luftverschmutzung" und "Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse" für die Fahrzeugklasse "Sonstige Fahrzeuge", eigene Darstellung

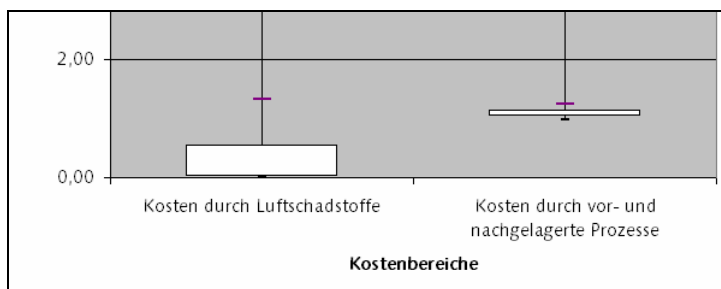


Abbildung 5-8: Vergrößerte Darstellung des unteren Bereichs der Abbildung 5-7, eigene Darstellung

6 Diskussion eines Preissystems

Wie bereits im Kapitel 1.2 erläutert, wird im Rahmen dieser Arbeit erörtert, wie ein mögliches Preissystem für eine fahrleistungsbezogene Gebühr zur Internalisierung der externen Kosten gestaltet werden könnte. Neben dieser Internalisierungsstrategie sind eine Reihe weitere Vorgehensweisen möglich. Diese werden z. B. von [SCHÜTTE 1998] und [ABERLE 1997] diskutiert und sind nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Auf der einen Seite ist ein einheitlicher fahrleistungsbezogener Gebührensatz entsprechend der Höhe der über alle Abschnitte gemittelten fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten denkbar. Vor dem Hintergrund einer stärkeren Betonung der verursachergerechten Anlastung der Kosten könnte andererseits auch ein Preissystem in Betracht gezogen werden, dass die Unterschiede der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten zwischen den Abschnitten im Rahmen eines differenzierten Preissystems durch eine Staffelung der Gebühren abbildet. Auf der Basis der Ergebnisse für das Beispielnetz wird im Folgenden diese Frage erörtert.

Ein differenziertes Preissystem ist vor allem dann sinnvoll, wenn

- fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten einzelner oder mehrerer Abschnitte vom Mittelwert aller Abschnitte nennenswert abweichen und damit ein Anlass zur Differenzierung der Kostensätze gegeben ist und
- mehrere aneinander grenzende Abschnitte aufgrund ähnlicher fahrleistungsbezogener Durchschnittskosten in gleiche Preiskategorien eingeteilt werden können, um die Gliederung für den Verkehrsteilnehmer nachvollziehbar und akzeptabel zu machen.

Die erste Bedingung wird durch die für das Beispielnetz vorliegenden Ergebnisse augenscheinlich erfüllt. Um zu beurteilen, ob mehrere direkt aneinander grenzende Abschnitte zur gleichen Preiskategorie gehören, könnten alle Abschnitte in Abhängigkeit von den Klassifikationsmerkmalen "Höhe der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten" und "Lage im Netz" (bezogen auf andere Abschnitte) durch eine hierarchisch agglomerative Clusteranalyse⁸¹ in disjunkte Klassen eingeteilt werden. Da es sich im vorliegenden Fall jedoch lediglich um bivariate Datensätze handelt, aus denen direkt ersichtlich ist, dass eine Einteilung in räumlich zusammenhängende Klassen aufgrund der Verteilung der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten im Beispielnetz nicht möglich ist, wird von der Durchführung einer Clusteranalyse abgesehen. Stattdessen ist durch eine

⁸¹ Zu den Grundlagen des Klassifikationstyps, der Bewertungskriterien und der Verfahren von Clusteranalyse s. [Hartung, Elpelt 2007] und [Bacher 1994]

optische Analyse eine allein auf der Basis der Verteilung der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten begründete Einteilung des Beispielnetzes in vier Klassen möglich. Ein in vier Klassen differenziertes Preissystem wird dabei als dem Verkehrsteilnehmer noch vermittelbar erachtet. In Tabelle 6-1 sind diese vier Klassen mit ihren Abschnitten, den mit den Fahrleistungen der Abschnitte gewichteten mittleren fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten sowie der Standardabweichung der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der Abschnitte von diesem Mittelwert dargestellt.

Tabelle 6-1: Einteilung des Beispielnetzes in Klassen ähnlicher fahrleistungsbezogener Durchschnittskosten, eigene Berechnungen

Klasse	1	2	3	4
Enthaltene Abschnitte ⁸²	3, 21, 33	4, 5, 22, 24, 30, 39	1, 2, 6, 20, 26	7 – 19, 23, 25, 27 – 29, 31, 32, 34 – 38, 40 – 47
Mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten "Sonstige Fahrzeuge" [ct/Fz*km]	38,5	7,3	4,8	4,3
Standardabweichung "Sonstige Fahrzeuge" [ct/Fz*km]	15,6	0,4	0,08	0,06
Mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten "Lkw ≥ 12 t zGG" [ct/Fz*km]	210,0	32,4	16,9	13,6
Standardabweichung "Lkw ≥ 12 t zGG" [ct/Fz*km]	108,1	2,6	0,58	0,36

Zur grafischen Verdeutlichung sind im Anhang G für jede Klasse Diagramme der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten angegeben, in denen die Abschnittswerte als Balken und der Klassenwert als Linie eingetragen sind.

Das sich durch diese Klasseneinteilung ergebende Preissystem wird in Abbildung 6-1 aufgezeigt.

⁸² Zur Abschnittsnummerierung: s. Anhang F bzw. Abbildung 5-1

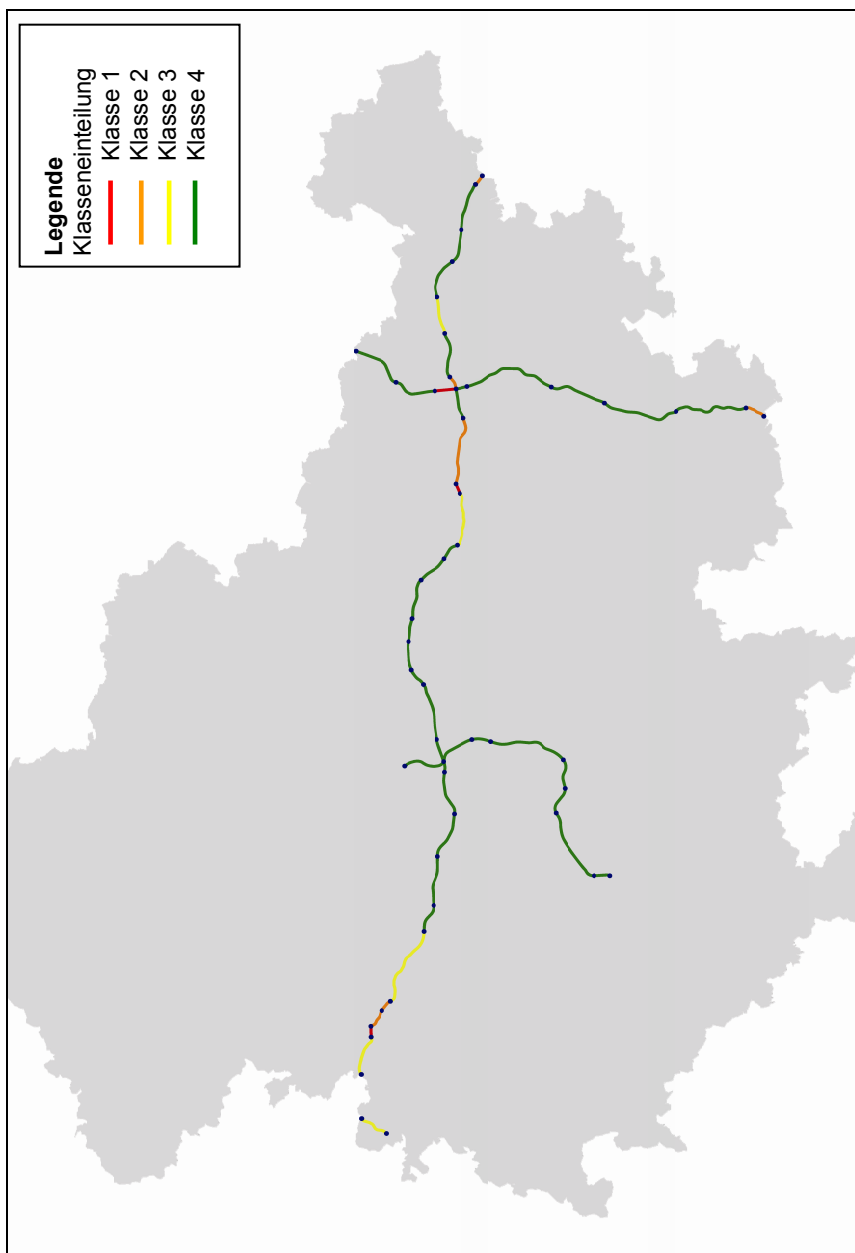


Abbildung 6-1: Grafische Darstellung der Einteilung des Beispielnetzes in mögliche Preisklassen, eigene Darstellung

Insbesondere für Abschnitte der Klasse 1 ist nach Auffassung des Verfassers zu befürchten, dass durch ein entsprechendes Preissystem Fahrzeugführer auf alternative Bundes-, Landes-, Kreis- oder Kommunalstraßen ausweichen werden, sofern zur Nutzung dieser keine Gebühren zu entrichten sind. Zwar existiert diese Problematik generell bei der Bemaßung eines Teils des gesamten Straßennetzes und führte durch die **[MAUTSTRAUSDEHN 2006]** zur Ausdehnung des Geltungsbereiches der derzeit in Deutschland erhobenen Nutzungsgebühr auf einige Bundesstraßenabschnitte, allerdings würde sie durch die nur auf einzelnen Abschnitten erhobenen, vergleichsweise sehr hohen Gebührensätze der Klasse 1 an diesen Abschnitten verstärkt auftreten.

Die aktuell mit der Umfahrung dieser Abschnitte verbundenen zusätzlichen Reisezeiten wären im Vergleich zu den im Fernverkehr üblichen Reisezeiten und den finanziellen Einsparpotenzialen, die sich aus der Umfahrung ergäben, von geringerer Bedeutung. Zwar würden keineswegs alle potenziellen Nutzer des betreffenden Abschnitts diesen tatsächlich umfahren, da mit der Verlagerung auf alternative Routen ein deutlicher Anstieg der Reisezeiten auf diesen Alternativrouten einherginge und sie damit an Attraktivität verlören. Gleichwohl würde damit ein Teil des ursprünglichen Problems, das mit der Erhebung einer entsprechenden Gebühr beseitigt werden soll, nämlich die fehlende Internalisierung externer Kosten, auf Straßen verlagert, die dem Autobahnnetz nachgeordnet sind.

Bei der Erhebung einheitlicher Gebührensätze wäre das finanzielle Einsparpotenzial auf Abschnitten mit vergleichsweise hohen externen Kosten deutlich geringer und die Umfahrung einzelner Abschnitte mit besonders hohen Gebühren nicht möglich. Um in diesem Fall ähnliche Einsparungen zu erzielen, müssten mehrere Abschnitte des Autobahnnetzes umfahren werden. Dadurch ergäben sich allerdings gleichzeitig spürbare Reisezeitzuwächse, die eine Umfahrung nur in Ausnahmefällen attraktiv erscheinen lassen würden. Von einer systematischen Untersuchung dieser Thesen wird an dieser Stelle abgesehen, da sie den Aufbau eines umfassenden Verkehrsmodells erfordert, mit dem Verhaltensänderungen, wie bspw. von **[KRIEBERNEGG 2005]** aufgezeigt, bei der Verkehrserzeugung, -verteilung, -aufteilung und -umlegung abgebildet werden können. Aufgrund der Erfahrungen im Zusammenhang mit der so genannten Lkw-Maut erscheinen die Thesen allerdings zutreffend. Da Anpassungsreaktionen der Autobahnnutzer zu erwarten sind, werden entsprechende Untersuchungen im Vorfeld einer Erweiterung der Maut in Höhe der externen Kosten dringend angeraten.

Sofern eine Nutzungsgebühr für einen Teilbereich des Straßennetzes erhoben wird, sollte diese also auf allen Abschnitten des bemaßten Netzes den middle-

ren fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der jeweiligen Fahrzeugklasse entsprechen.

7 Sensitivitätsanalyse

7.1 Einleitung

Sensitivitätsanalysen werden mit dem Ziel durchgeführt, die Robustheit von Berechnungsergebnissen gegenüber Änderungen einzelner Parameter aufzuzeigen. Die Berechnungsmethodik der vorliegenden Arbeit beruht z. T. auf Annahmen, deren Inhalt durch empirische Daten belegt oder argumentativ begründet ist. Begründete Einwände bzgl. der Gültigkeit einzelner Annahmen könnten jedoch vereinzelt angemessen sein.

Daher wird im Folgenden am Beispielnetz untersucht, welche Auswirkungen sich durch Änderung dieser Annahmen hinsichtlich der Gesamt- und Durchschnittskosten ergäben. Insgesamt werden Annahmen zu den Kostenbereichen "Unfallkosten", "Lärmkosten", "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel" und "Kosten durch Luftverschmutzung" variiert. Hinsichtlich des Kostenbereichs "Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse" ergeben sich Variationen durch Modifikation der zuvor genannten Kostenbereiche. Für die Kostenbereiche "Kosten für Natur und Landschaft" sowie "Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung" erfolgen keine Sensitivitätsanalysen, da hier nicht einzelne Annahmen, sondern – wie im Kapitel 4.5.3.2 erläutert – der gesamte biozentrische Ansatz kritisch hinterfragt werden könnte. Die Anwendung alternativer Verfahren für diese beiden Kostenbereiche im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird aufgrund der Unzulänglichkeiten dieser Alternativen (s. Kapitel 4.5.3.1 und 4.6.3.1) ausgeschlossen.

Um den Einfluss jeder einzelnen kostenbereichsspezifischen Annahme auf das Gesamtergebnis darzustellen, wird jeweils nur eine Annahme variiert, während die sonstige Berechnungsmethodik unverändert bleibt. Dabei werden ausschließlich Abwandlungen vorgenommen, die nicht im Widerspruch zu den methodischen Grundlagen dieser Arbeit stehen. Änderungen der verwendeten Kostensätze erfolgen nur dann, wenn sie durch Literaturquellen belegbar sind.

Sicherlich wären innerhalb des methodischen Rahmens noch weitere Variationen anderer, im Rahmen der Arbeit getroffener Annahmen denkbar⁸³. Um die aus Sicht des Verfassers wichtigsten Annahmen jedoch nicht in einer Vielzahl von Analysen untergehen zu lassen, wird darauf an dieser Stelle verzichtet. Abschließend wird außerdem aufgezeigt, wie stark sich die Gesamt- und Durch-

⁸³ So könnte bspw. untersucht werden, welchen Einfluss die Annahme, dass bereits Einpersonenhaushalte mit weniger als 1.500 € Haushaltsnettoeinkommen statt mit 1.200 € nicht selbst für eine Haushaltshilfe aufkommen können, auf die Höhe der Kostensätze zur Bewertung gesundheitlicher Schäden infolge von Lärm hätte.

schnittskosten ändern, wenn alle untersuchten kostenbereichsspezifischen Annahmen in Kombination modifiziert werden.

Neben der Variation von Annahmen, die jeweils nur Einfluss auf einen der Kostenbereiche haben, wird zusätzlich untersucht, wie sich eine Änderung der Diskontrate auf das Ergebnis auswirken würde.

7.2 Unfallkosten

In der ursprünglichen Berechnungsmethodik werden Kosten von Unfällen der Kategorie 5 nicht erfasst, da die zu diesen Unfällen vorliegenden Daten keine abschnitts- und fahrzeugklassenbezogene Allokation zulassen. Im Betrachtungszeitraum ereigneten sich nach Angaben des TLS jährlich im Schnitt 3.802 Unfälle der Kategorie 5. Zur Abschätzung des Einflusses der Kosten dieser Unfälle werden im Rahmen der Sensitivitätsanalyse zwei Annahmen behandelt, die zwar nicht die Realität widerspiegeln, aus denen aber abgeschätzt wird, wie stark sich das Gesamtergebnis in etwa durch Berücksichtigung von Unfällen der Kategorie 5 verändert würde.

7.2.1 Variation 1

Die Variation 1 beinhaltet die Annahme, dass sich die Kosten der Unfallkategorie 5 gleichmäßig auf das Netz und entsprechend ihrer Fahrleistungen auf die beiden Fahrzeugklassen aufteilen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7-1 zusammengefasst und im Anhang H detailliert dargestellt.

Tabelle 7-1: Ausgewählte Ergebnisse der Variation 1 der Unfallkosten, eigene Berechnungen

		Betrag neu	Absolute Veränderung	Prozentuale Veränderung
Gesamtkosten des Kosten- bereichs "Un- fallkosten"	Sonstige Fahrzeuge	5.517.019 €/a	+ 57.376 €/a	+ 1 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	2.541.697 €/a	+ 7.866 €/a	+ 0,3 %
Gesamtkosten aller Kosten- bereiche	Sonstige Fahrzeuge	236.345.255 €/a	+ 57.376 €/a	+ 0,02 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	127.338.307 €/a	+ 7.866 €/a	+ 0,006 %
Mittlere fahr- leistungsbez. Durchschnitts- kosten	Sonstige Fahrzeuge	5,6 ct/Fz*km	0 ct/Fz*km	0,0 % ⁸⁴
	Lkw ≥ 12 t zGG	22,0 ct/Fz*km	0 ct/Fz*km	0,0 % ⁸⁴

Da mit Ausnahme eines Teils der anfallenden Justizkosten alle Kosten, die im Zusammenhang mit Unfällen der Kategorie 5 entstehen, bereits internalisiert sind, liegt der Kostensatz zur Bewertung dieser Unfälle bei 11 €. Die gesamten externen Kosten der Unfälle der Kategorie 5 beider Fahrzeugklassen belaufen sich daher auf 62.242 €, ihr Einfluss auf das Gesamtergebnis ist vernachlässigbar.

7.2.2 Variation 2

Die Variation 2 behandelt die Frage, um welchen Betrag und Anteil sich die Gesamt- und Durchschnittskosten der einzelnen Abschnitte erhöhen, wenn die Kosten der Unfälle der Kategorie 5 entsprechend der bisherigen Kostenallokation auf die Abschnitte und Fahrzeugklassen aufgeteilt werden. Diese Vorgehensweise basiert auf der Annahme, dass Unfälle der Kategorie 5 hinsichtlich ihrer Verteilung auf die Abschnitte und Fahrzeugklassen den Unfällen der bisher betrachteten Kategorien entsprechen. Die Ergebnisse sind Tabelle 7-2 zu entnehmen. Anhang H enthält darüber hinaus Werte für die einzelnen Abschnitte. Insgesamt gleicht das Ergebnis dem der Variation 1, da die Änderung der Aufteilung der gleichen Gesamtkosten (65.242 €) auf die Fahrzeugklassen und Abschnitte aufgrund ihrer geringen Höhe im Vergleich zum Gesamtergebnis von untergeordneter Bedeutung ist.

⁸⁴ Tatsächlich entspricht die prozentuale Veränderung jeweils dem Wert der prozentualen Veränderung der Gesamtkosten. Die Abweichungen sind auf Rundungsfehler zurückzuführen. Dieser Umstand trifft auf nahezu alle Tabellen des Kapitels 7 zu.

Tabelle 7-2: Ausgewählte Ergebnisse der Variation 2 der Unfallkosten, eigene Berechnungen

		Betrag neu	Absolute Veränderung	Prozentuale Veränderung
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Unfallkosten"	Sonstige Fahrzeuge	5.504.204 €/a	+ 44.561 €/a	+ 0,9 %
	Lkw \geq 12 t zGG	2.554.511 €/a	+ 20.681 €/a	+ 0,9 %
Gesamtkosten aller Kostenbereiche	Sonstige Fahrzeuge	236.332.441 €/a	+ 44. 561 €/a	+ 0,02 %
	Lkw \geq 12 t zGG	127.351.122 €/a	+ 20.681 €/a	+ 0,02 %
Mittlere fahrleistungsbez. Durchschnittskosten	Sonstige Fahrzeuge	5,6 ct/Fz*km	0 ct/Fz*km	0,0 %
	Lkw \geq 12 t zGG	22,1 ct/Fz*km	+ 0,1 ct/Fz*km	0,5 %

7.3 Lärmkosten

Hinsichtlich der belästigenden Lärmwirkungen wird im Rahmen dieser Sensitivitätsanalyse davon ausgegangen, dass die Belästigung bereits ab einem Schall- druckpegel von 45 dB (A) an der Außenfassade der Wohngebäude eintritt. Tabelle 7-3 beinhaltet eine Übersicht der Ergebnisse, die detailliert im Anhang H aufgeführt sind.

Tabelle 7-3: Ausgewählte Ergebnisse der Variation der Lärmkosten, eigene Berechnungen

		Betrag neu	Absolute Veränderung	Prozentuale Veränderung
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Lärmkosten"	Sonstige Fahrzeuge	2.271.813 €/a	+ 508.702 €/a	+ 29 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	2.442.704 €/a	+ 519.763 €/a	+ 27 %
Gesamtkosten aller Kostenbereiche	Sonstige Fahrzeuge	236.796.581 €/a	+ 508.702 €/a	+ 0,2 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	127.850.204 €/a	+ 519.763 €/a	+ 0,4 %
Mittlere fahrleistungsbez. Durchschnittskosten	Sonstige Fahrzeuge	5,6 ct/Fz*km	0 ct/Fz*km	0,0 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	22,1 ct/Fz*km	+ 0,1 ct/Fzkm	+ 0,5 %

Bezogen auf die Gesamtkosten des Kostenbereichs "Lärmkosten" ergibt sich eine deutliche Änderung. Da dieser Kostenbereich allerdings einen geringen Anteil an der Höhe des Gesamtergebnisses hat (s. Abbildung 5-4), liegt der Einfluss dieser Variation auf das Gesamtergebnis bei unter einem Prozent.

7.4 Kosten durch Beiträge zum Klimawandel

Im Kapitel 3.2.3 wurde bereits erläutert, dass unter Anwendung des Vermeidungskostenansatzes ermittelte Kostensätze maßgeblich vom zugrunde liegenden Vermeidungsziel abhängen. Der in dieser Arbeit angesetzte Kostensatz zur Bewertung von Treibhausgasemissionen basiert auf dem Ziel, die weltweite Erwärmung im Vergleich zur vorindustriellen Phase nicht über 2°C steigen zu lassen. Auch bei Einhaltung dieses Ziels ist zu vermuten, dass Schäden infolge der Erderwärmung auftreten werden. Die damit verbundenen Kosten werden von **[KOM 2005]** zu 20 €/t CO₂-Äquiv. geschätzt. Daher wird an dieser Stelle untersucht, welche Auswirkungen die Verwendung eines Kostensatzes von 125 €/t

CO₂-Äquiv. für die Kostenberechnung des Jahres 2005 hätte. Dabei werden auch Änderungen hinsichtlich der Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse betrachtet. Die Ergebnisse sind der Tabelle 7-4 und dem Anhang H zu entnehmen.

Tabelle 7-4: Ausgewählte Ergebnisse der Variation der Kosten durch Beiträge zum Klimawandel, eigene Berechnungen

		Betrag neu	Absolute Veränderung	Prozentuale Veränderung
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel"	Sonstige Fahrzeuge	130.462.727 €/a	+ 20.874.036 €/a	+ 19 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	57.469.138 €/a	+ 9.195.062 €/a	+ 19 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Kosten durch vor- und nachgelagerte P."	Sonstige Fahrzeuge	60.003.504 €/a	+ 7.722.187 €/a	+ 15 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	25.671.187 €/a	+ 2.748.344 €/a	+ 12 %
Gesamtkosten aller Kostenbereiche	Sonstige Fahrzeuge	264.884.103 €/a	+ 28.596.223 €/a	+ 12 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	139.273.846 €/a	+ 11.943.406 €/a	+ 9 %
Mittlere fahrleistungsbez. Durchschnittskosten	Sonstige Fahrzeuge	6,3 ct/Fz*km	+ 0,7 ct/Fz*km	+ 13 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	24,1 ct/Fz*km	+ 2,1 ct/Fz*km	+ 10 %

Die prozentuale Änderung der Gesamtkosten des Kostenbereichs "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel" entspricht der prozentualen Änderung des Kosten-satzes (Ursprungsberechnung: 105 €/t CO₂-Äquiv.; Variation: 125 €/t CO₂-Äquiv.; prozentuale Änderung: 19 %), während dieser Umstand hinsichtlich des Kostenbereichs "Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse" aufgrund der komplexeren Kostenstruktur nicht zutrifft. Insgesamt hat die Variation mit 12 % bzw. 9 % mäßigen Einfluss auf das Gesamtergebnis. Die Auswirkung einer Variation des (Vermeidungs-)Kostensatzes wird nicht an dieser Stelle, sondern im Rahmen der Sensitivitätsanalyse zur Diskontrate untersucht (s. Kapitel 7.7).

7.5 Kosten durch Luftverschmutzung

In der bisherigen Berechnungsmethodik wurden Kosten aus verkehrsbedingten Gebäudeschäden aufgrund der in Kapitel 4.4.5.2 dargelegten Schwierigkeiten nicht erfasst. Um zu ermitteln, wie stark das Ergebnis bei Berücksichtigung dieser Kosten variieren würde, werden sie hier unter Berücksichtigung stark vereinfachender Annahmen abgeschätzt. Dazu werden zunächst räumliche Zusammenhänge zwischen luftschadstoffbedingten Gesundheits- und Gebäudekosten sowie die Untersuchungen **[ARE 2004A]** und **[ARE 2004B]** genauer betrachtet:

Luftschadstoffbedingte Gesundheitsschäden werden räumlich dem Wohnort der betroffenen Personen zugeschrieben. Es existiert also ein direkter Zusammenhang zwischen der Einwohnerzahl und der Höhe der luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten eines Gebietes. Unter der stark vereinfachenden Annahme, dass die Einwohnerzahl eines Gebietes linear von dessen Bebauungsdichte abhängt, wird weiterhin von einem Zusammenhang zwischen der Bebauungsdichte und der Höhe der Gesundheitskosten ausgegangen. Ein solcher Zusammenhang besteht in jedem Fall auch zwischen der Bebauungsdichte und der Höhe der Gebäudeschäden. Vereinfachend wird daher im Folgenden für einzelne Autobahnabschnitte angenommen, dass sich die Höhe der luftschadstoffbedingten Gebäudeschäden proportional zur Höhe der Gesundheitsschäden durch Luftverschmutzung verhält. Ein Vergleich der Studien **[ARE 2004A]** und **[ARE 2004B]** ergibt, dass die Kosten durch Gebäudeschäden in verkehrsbelasteten Gebieten⁸⁵ (175 Mio. CHF) etwa 18 % der gesamten luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten (962 Mio. CHF) ausmachen. Die für die Berechnung der Gesundheitskosten in **[ARE 2004A]** verwendeten Kostensätze entsprechen in etwa den in der vorliegenden Arbeit entwickelten Kostensätzen.

Bei Berechnung der abschnittsbezogenen Gebäudeschäden wird daher davon ausgegangen, dass sie 18 % der luftschadstoffbedingten Gesundheitsschäden des betreffenden Autobahnabschnitts betragen. Die Auswirkungen auf das Gesamtergebnis sind in Tabelle 7-5 Tabelle 7-5 und Anhang H dargestellt. Dabei werden auch die Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse aufgrund ihrer Abhängigkeit von den Kosten durch Luftverschmutzung neu ermittelt.

⁸⁵ Es werden nur Reinigungskosten und Kosten durch die Verkürzung der Renovationszyklen (Kosten in verkehrsbelasteten Gebieten) berücksichtigt, da im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufgrund des gewählten Ausbreitungsmodells lediglich Immissionen und damit Wirkungen im Nahbereich der Straße (jeweils bis in 200 m Entfernung) betrachtet werden. Weitere Ausführungen zum Ausbreitungsmodell enthält das Kapitel 4.4.6.

Tabelle 7-5: Ausgewählte Ergebnisse der Variation der Kosten durch Luftverschmutzung, eigene Berechnungen

		Betrag neu	Absolute Veränderung	Prozentuale Veränderung
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Kosten durch Luftverschmutzung"	Sonstige Fahrzeuge	66.022.096 €/a	+ 10.010.991 €/a	+ 18 %
	Lkw \geq 12 t zGG	59.144.846 €/a	+ 8.932.694 €/a	+ 18 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Kosten durch vor- und nachgelagerte P."	Sonstige Fahrzeuge	53.782.966 €/a	+ 1.501.649 €/a	+ 3 %
	Lkw \geq 12 t zGG	24.352.075 €/a	+ 1.429.231 €/a	+ 6 %
Gesamtkosten aller Kostenbereiche	Sonstige Fahrzeuge	247.800.519 €/a	+ 11.512.640 €/a	+ 5 %
	Lkw \geq 12 t zGG	137.692.365 €/a	+ 10.361.925 €/a	+ 8 %
Mittlere fahrleistungsbez. Durchschnittskosten	Sonstige Fahrzeuge	5,9 ct/Fz*km	+ 0,3 ct/Fz*km	+ 5 %
	Lkw \geq 12 t zGG	23,8 ct/Fz*km	+ 1,8 ct/Fz*km	+ 8 %

Insgesamt hat die Berücksichtigung der Gebäudeschäden einen mäßigen Einfluss sowohl auf die Gesamtkosten der beiden Kostenbereiche als auch auf das Gesamtergebnis.

7.6 Kombinationen der kostenbereichsspezifischen Sensitivitätsanalysen

Durch Verknüpfung der Sensitivitätsanalysen zu den bisher untersuchten kostenbereichsspezifischen Annahmen ergibt sich

- Kombination 1, die die Variation 1 der Unfallkosten und die Sensitivitätsanalysen der sonstigen kostenbereichsspezifischen Annahmen beinhaltet sowie
- Kombination 2, die aus Variation 2 der Unfallkosten und den Sensitivitätsanalysen der sonstigen kostenbereichsspezifischen Annahmen besteht.

Die Ergebnisse sind im Detail wiederum im Anhang H zu finden, während Tabelle 7-6 und Tabelle 7-7 den Einfluss der Kombinationen zusammenfassend darstellen.

Tabelle 7-6: Ausgewählte Ergebnisse der Kombination 1 der Sensitivitätsanalyse, eigene Berechnungen

		Betrag neu	Absolute Veränderung	Prozentuale Veränderung
Gesamtkosten aller Kostenbereiche	Sonstige Fahrzeuge	276.962.820 €/a	+ 40.674.941€/a	+ 17 %
	Lkw \geq 12 t zGG	150.163.400 €/a	+ 22.832.959 €/a	+ 18 %
Mittlere fahrleistungsbez. Durchschnittskosten	Sonstige Fahrzeuge	6,6 ct/Fz*km	+ 1,0 ct/Fz*km	+ 18 %
	Lkw \geq 12 t zGG	26,0 ct/Fz*km	+ 4,0 ct/Fz*km	+ 18 %

Tabelle 7-7: Ausgewählte Ergebnisse der Kombination 2 der Sensitivitätsanalyse, eigene Berechnungen

		Betrag neu	Absolute Veränderung	Prozentuale Veränderung
Gesamtkosten aller Kostenbereiche	Sonstige Fahrzeuge	276.950.005 €/a	+ 40.662.126 €/a	+ 17 %
	Lkw \geq 12 t zGG	150.176.214 €/a	+ 22.845.773 €/a	+ 18 %
Mittlere fahrleistungsbez. Durchschnittskosten	Sonstige Fahrzeuge	6,6 ct/Fz*km	+ 1,0 ct/Fz*km	+ 18 %
	Lkw \geq 12 t zGG	26,0 ct/Fz*km	+ 4,0 ct/Fz*km	+ 18 %

Die Ergebnisse der Kombinationsrechnungen werden maßgebend von der Variation der Annahmen zu den Kostenbereichen "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel" und "Kosten durch Luftverschmutzung" bestimmt. Die unterschiedliche Variation der Annahmen zu den Unfallkosten sind nahezu bedeutungslos, wie den Ergebnissen der Kombinationsrechnungen entnommen werden kann: Sie unterscheiden sich hinsichtlich der absoluten Werte der Gesamtkosten marginal. Bei Betrachtung der prozentualen Veränderungen und der mittleren fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten ergeben sich aufgrund von Rundungen keine Unterschiede.

7.7 Diskontrate

Wie bereits im Kapitel 3.3 erläutert, besteht in Fachkreisen Dissenz hinsichtlich der zu wählenden Höhe der Diskontrate. Dabei können beide Seiten stichhaltige Argumente für die jeweilige Sichtweise vorbringen. Um den Einfluss der Diskontrate auf das Gesamtergebnis zu eruieren, wird sie im Folgenden variiert. Davon

sind vor allem Klimaschäden sowie Gesundheitsschäden infolge chronischer Krankheiten bzw. langwieriger Verletzungen und Getöteten betroffen, da die mit diesen Schäden verbundenen Kosten über lange Zeiträume anfallen. Weiterhin hat die Änderung der Diskontrate Einfluss auf die Kostenbereiche "Kosten für Natur und Landschaft" und "Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung", da die insgesamt anfallenden Kosten dieser Bereiche auf den Zeitraum 1950 bis 2004 aufgeteilt bzw. diskontiert werden.

7.7.1 Variation 1

Zunächst wird, dem Argument der individuellen Zeitpräferenz folgend, die Diskontrate zu 3 % gewählt. Dadurch ergeben sich wesentliche Änderungen einiger Kostensätze, die in Tabelle 7-8 dargestellt sind.

Tabelle 7-8: Geänderte Kostensätze infolge der Variation der Diskontrate zu 3 %, eigene Berechnungen

Kostenbereich	Bezeichnung	Kostensatz neu
Unfallkosten	Kostensatz für Getötete	27.296 €/Person
Lärmkosten	Kostensatz für ischämische Herzkrankheiten	57.039 €/Krankheitsfall
	Kostensatz für Hypertonieerkrankungen	4.927 €/Krankheitsfall
Kosten durch Beiträge zum Klimawandel	Kostensatz für Klimagasemissionen	54 €/t CO ₂ -Äquiv.
Kosten durch Luftverschmutzung	Kostensatz für Langzeitmortalität	98.582 €/Todesfall
	Kostensatz für Säuglingssterblichkeit	1.201.211 €/Todesfall
	Kostensatz für chronische Bronchitis	35.156 €/Krankheitsfall
Kosten für Natur und Landschaft	Kostensatz für Natur und Landschaft	0,397 €/m ²
Kosten durch Wasser- und Bodenverschm.	Kostensatz für Wasser- und Bodenverschmutzung	0,475 €/m ³
Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse	s. Änderungen der Kostenbereiche "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel" und "Kosten durch Luftverschmutzung"	

Die ermittelten Kosten sind zusammengefasst in Tabelle 7-9 angegeben, während Anhang H detaillierte Ergebnisse enthält.

Tabelle 7-9: Ausgewählte Ergebnisse der Änderung der Diskontrate zu 3 %, eigene Berechnungen

		Betrag neu	Absolute Veränderung	Prozentuale Veränderung
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Unfallkosten"	Sonstige Fz.	5.374.306 €/a	- 85.337 €/a	- 2 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	2.485.473 €/a	- 48.357 €/a	- 2 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Lärmkosten"	Sonstige Fz.	1.573.265 €/a	- 189.846 €/a	- 11 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	1.704.391 €/a	- 218.550 €/a	- 11 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Beiträge zum Klimaw."	Sonstige Fz.	56.359.898 €/a	- 53.228.793 €/a	- 49 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	24.826.668 €/a	- 23.447.408 €/a	- 49 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Kosten durch Luftv."	Sonstige Fz.	54.752.971 €/a	- 1.258.134 €/a	- 2 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	48.999.536 €/a	- 1.212.616 €/a	- 2 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Kosten für Natur und L."	Sonstige Fz.	6.591.528 €/a	- 2.440.692 €/a	- 27 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	863.191 €/a	- 319.619 €/a	- 27 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Kosten durch Wasser- und Bodenv."	Sonstige Fz.	1.577.318 €/a	- 574.476 €/a	- 27 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	206.557 €/a	- 75.230 €/a	- 27 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Vor- und nachge. Prozesse"	Sonstige Fz.	25.480.913 €/a	- 26.800.404 €/a	-51 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	12.638.571 €/a	- 10.284.273 €/a	- 45 %
Gesamtkosten aller Kostenbereiche	Sonstige Fz.	151.710.198 €/a	- 84.577.681 €/a	- 36 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	91.724.386 €/a	- 35.606.055 €/a	- 28 %
Mittlere fahrleistungsbez. Durchschnittskosten	Sonstige Fz.	3,6 ct/Fz*km	- 2 ct/Fz*km	- 36 %
	Lkw ≥ 12 t zGG	15,9 ct/Fz*km	- 6,1 ct/Fz*km	- 28 %

Durch den unterschiedlichen Einfluss der Diskontrate auf die Wertegerüste der dargestellten Kostenbereiche ergeben sich stark voneinander abweichende prozentuale Veränderungen. Während die Kostenbereiche "Unfallkosten" und "Kosten durch Luftverschmutzung" geringfügige Änderungen aufweisen, stellen sich für die Kostenbereiche "Lärmkosten" und insbesondere "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel", "Kosten für Natur und Landschaft" und "Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung" erhebliche Änderungsraten ein. Da die beiden letztgenannten Kostenbereiche insgesamt jedoch geringe Beiträge zum Gesamtergebnis liefern (s. Abbildung 5-4), ergibt sich die prozentuale Änderung der Gesamtkosten aller Kostenbereiche hauptsächlich durch die Variation der "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel".

7.7.2 Variation 2

Zusätzlich wird überprüft, welchen Einfluss die Wahl der Diskontrate zu 0 % auf die Kostensätze hätte (s. Tabelle 7-10Tabelle 7-10). Damit werden zukünftige Kosten mit heute anfallenden Kosten gleichgesetzt.

Tabelle 7-10: Geänderte Kostensätze infolge der Variation der Diskontrate zu 0 %, eigene Berechnungen

Kostenbereich	Bezeichnung	Kostensatz neu
Unfallkosten	Kostensatz für Getötete	37.634 €/Person
Lärmkosten	Kostensatz für ischämische Herzkrankheiten	62.860 €/Krankheitsfall
	Kostensatz für Hypertonieerkrankungen	6.020 €/Krankheitsfall
Kosten durch Beiträge zum Klimawandel	Kostensatz für Klimagasemissionen	455 €/t CO ₂ -Äquiv.
Kosten durch Luftverschmutzung	Kostensatz für Langzeitmortalität	110.997 €/Todesfall
	Kostensatz für Säuglingssterblichkeit	2.408.876 €/Todesfall
	Kostensatz für chronische Bronchitis	36.043 €/Krankheitsfall
Kosten für Natur und Landschaft	Kostensatz für Natur und Landschaft	0,963 €/m ²
Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung	Kostensatz für Wasser- und Bodenverschmutzung	1,15 €/m ³
Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse	s. Änderungen der Kostenbereiche "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel" und "Kosten durch Luftverschmutzung"	

Die daraus folgenden Gesamt- und fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten sowie die Veränderungen im Vergleich zum Ursprungsergebnis sind in Tabelle 7-11 und Anhang H dargestellt.

Tabelle 7-11: Ausgewählte Ergebnisse der Änderung der Diskontrate zu 0 %, eigene Berechnungen

		Betrag neu	Absolute Veränderung	Prozentuale Veränderung
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Unfallkosten"	Sonstige Fz.	5.684.440 €/a	+ 224.797 €/a	+ 4 %
	Lkw \geq 12 t zGG	2.661.215 €/a	+ 127.385 €/a	+ 5 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Lärmkosten"	Sonstige Fz.	1.852.213 €/a	+ 89.102 €/a	+ 5 %
	Lkw \geq 12 t zGG	2.021.061 €/a	+ 98.120 €/a	+ 5 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Beiträge zum Klimaw."	Sonstige Fz.	474.884.326 €/a	+ 365.295.635 €/a	+ 333 %
	Lkw \geq 12 t zGG	209.187.662 €/a	+ 160.913.586 €/a	+ 333 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Kosten durch Luftv."	Sonstige Fz.	59.838.198 €/a	+ 3.827.093 €/a	+ 7 %
	Lkw \geq 12 t zGG	53.605.711 €/a	+ 3.393.559 €/a	+ 8 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Kosten für Natur und L."	Sonstige Fz.	15.989.021 €/a	+ 6.956.801 €/a	+ 77 %
	Lkw \geq 12 t zGG	2.093.835 €/a	+ 911.025 €/a	+ 77 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Kosten durch Wasser- und Bodenv."	Sonstige Fz.	3.818.769 €/a	+ 1.666.975 €/a	+ 77 %
	Lkw \geq 12 t zGG	500.085 €/a	+ 218.298 €/a	+ 77 %
Gesamtkosten des Kostenbereichs "Vor- und nachge. P."	Sonstige Fz.	187.993.656 €/a	+ 135.712.340 €/a	+ 260 %
	Lkw \geq 12 t zGG	71.561.820 €/a	+ 48.638.976 €/a	+ 212 %
Gesamtkosten aller Kostenbereiche	Sonstige Fz.	750.060.622 €/a	+ 513.772.743 €/a	+ 217 %
	Lkw \geq 12 t zGG	341.631.391 €/a	+ 214.300.950 €/a	+ 168 %
Mittlere fahrleistungsbezogene Durchschnittskosten	Sonstige Fz.	17,8 ct/Fz*km	+ 12,2 ct/Fz*km	+ 218 %
	Lkw \geq 12 t zGG	59,2 ct/Fz*km	+ 37,2 ct/Fz*km	+ 169 %

Die Annahme einer nullprozentigen Diskontrate hat bzgl. der Kostenbereiche "Unfallkosten", "Lärmkosten" und "Kosten der Luftverschmutzung" mäßige Auswirkungen. Enorme Änderungen ergeben sich hingegen bei den Kostenbereichen "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel", "Kosten für Natur und Landschaft" und "Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung". Die Veränderung des Gesamtergebnisses ist erheblich.

7.8 Zusammenfassung und Interpretation der Sensitivitätsanalysen

Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2 geben jeweils getrennt für die beiden Fahrzeugklassen einen abschließenden Überblick über die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse im Vergleich zum ursprünglichen Ergebnis.

Die Sensitivitätsanalysen zu kostenbereichsspezifischen Annahmen fallen differenziert aus: Eine Änderung der untersuchten Annahmen zu den Kostenbereichen "Unfallkosten" und "Lärmkosten" hat auf die Gesamtkosten und mittleren fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten einen marginalen Einfluss. Die Berechnungsmethodik erweist sich als stabil gegenüber einer Änderung dieser Annahmen; die getroffenen Annahmen sind auch vor diesem Hintergrund als unkritisch zu bewerten. Dagegen ist die Methodik weniger robust gegenüber Variation der Annahmen zu den Kostenbereichen "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel" und "Kosten durch Luftverschmutzung", die auch bei Kombination 1 und 2 nahezu ausschließlich für die Veränderungen im Vergleich zum ursprünglichen Ergebnis verantwortlich sind. Der starke Einfluss des Kostensatzes für Klimakosten auf das Gesamtergebnis ist insbesondere vor dem Hintergrund, dass dessen Höhe in Fachkreisen Gegenstand kontrovers geführter Diskussionen ist und je nach Studie sehr unterschiedliche Kostensätze⁸⁶ verwendet werden, kritisch zu beurteilen. Es besteht daher die Notwendigkeit, die theoretischen Grundlagen, die zur Herleitung des jeweils verwendeten Kostensatzes führen, genau zu analysieren. Da unter Klimaforschern weitgehend Einigkeit darüber besteht, dass bei Begrenzung der Erderwärmung auf + 2°C im Vergleich zur vorindustriellen Phase schlimmste Folgen vermieden werden können, sollte diese Annahme Grundlage zur Bestimmung entsprechender Kostensätze sein. Weiterhin verdeutlicht die Sensitivitätsanalyse bzgl. der durch Luftverschmutzung erzeugten Gebäudeschäden, dass die Entwicklung eines leicht übertragbaren Berechnungsverfahrens bzw. die Erhebung des für die vorhandenen Verfahren notwendigen Mengengerüsts angezeigt ist.

⁸⁶ s. Abbildung 4-4

Die Sensitivitätsanalysen zur Diskontrate zeigen auf, dass der Einfluss der Diskontrate auf die Höhe der gesamten externen Kosten aller Kostenbereiche und die mittleren fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten enorm ausfällt. Da auch die Diskontrate in den vorliegenden Studien keineswegs einheitlich gewählt wird, ist ihr starker Einfluss auf das Gesamtergebnis als besonders heikel anzusehen. Kann weiterhin keine Einigkeit über ihre Höhe erzielt werden, muss sie immer im Rahmen von Sensitivitätsanalysen variiert werden.

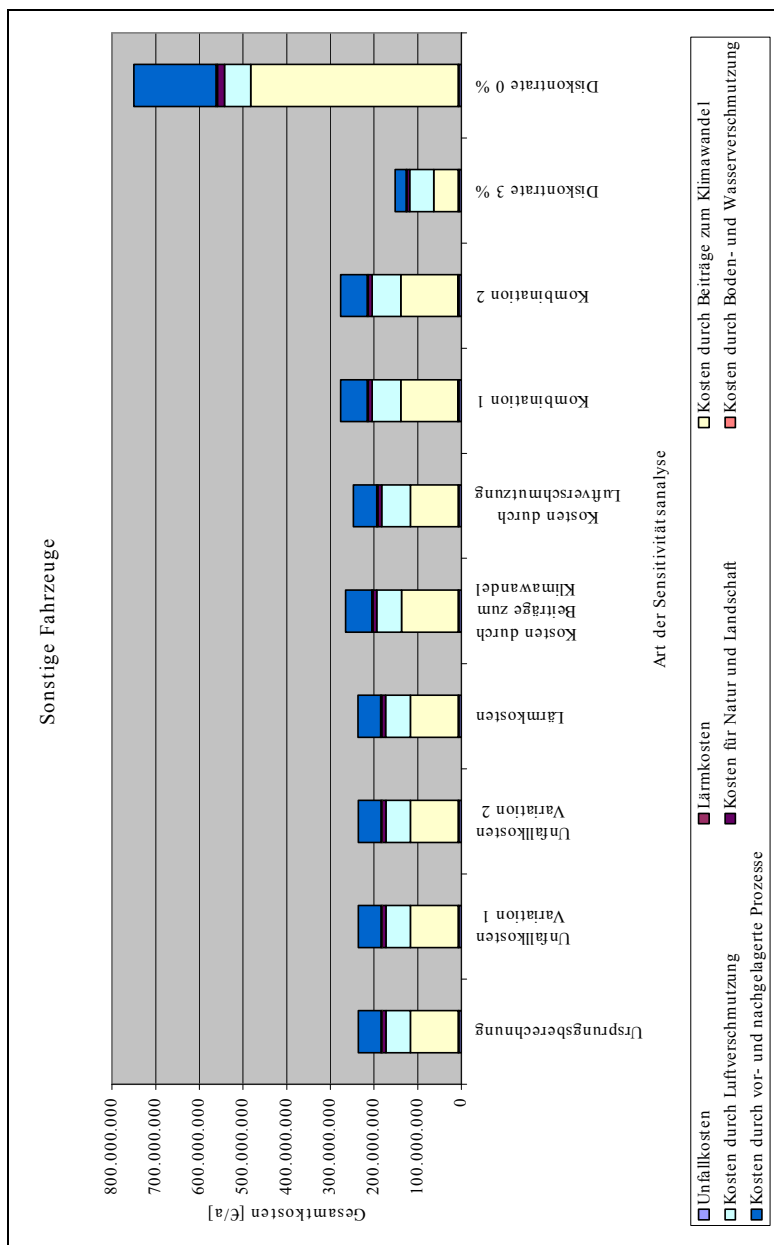


Abbildung 7-1: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse im Vergleich zum ursprünglichen Ergebnis für "Sonstige Fahrzeuge", eigene Darstellung

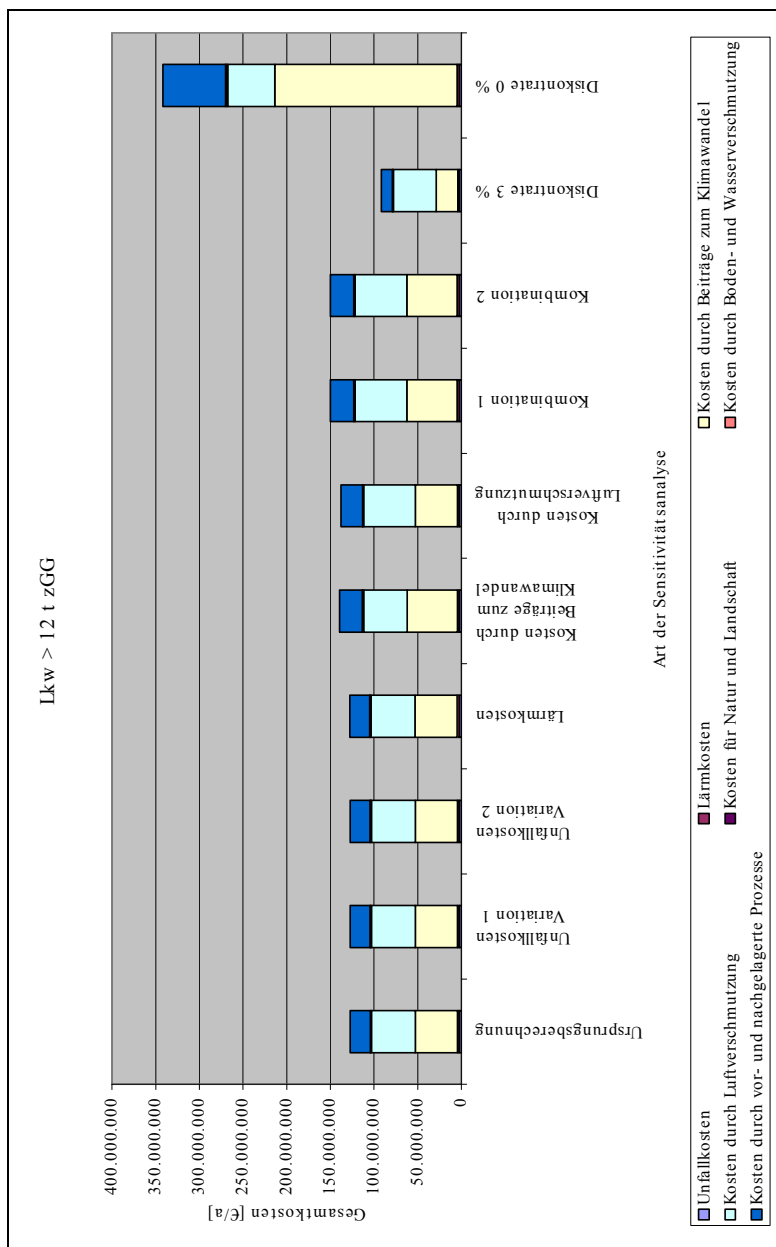


Abbildung 7-2: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse im Vergleich zum ursprünglichen Ergebnis für "Lkw \geq 12 t zGG", eigene Darstellung

8 **Ausblick**

Hinsichtlich der Kostenermittlung weist die in dieser Arbeit entwickelte Berechnungsmethodik eine unterschiedliche Güte zwischen den einzelnen Kostenbereichen auf. Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, dass aufgrund des aktuellen Stands der Forschung bzgl. der quantitativen Beschreibung schadhafter Wirkungen, deren monetären Bewertung und der zur Verfügung stehenden Mengengerüste deutliche Unterschiede zwischen den Kostenbereichen bestehen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit war eine Weiterentwicklung der kostenbereichsspezifischen Verfahren aufgrund finanzieller Einschränkungen teilweise möglich; bestimmte Kosten konnten nicht erfasst werden. Um die Kostenberechnung weiter zu vervollständigen, wird im Folgenden aufgezeigt, hinsichtlich welcher Fragestellungen der einzelnen Kostenbereiche weiterer Forschungs- bzw. Handlungsbedarf besteht.

8.1 **Unfallkosten**

Das maßgebliche Problem hinsichtlich dieses Kostenbereiches ergibt sich aus der mangelnden Aktualität der zur Berechnung der Kostensätze verwendeten Untersuchungen von **[BAUM ET AL. 1998]** und **[BAUM, HÖHNSCHIED 2000]**. Wie im Kapitel 4.1.3.2 erläutert, haben sich in den vergangenen Jahren Änderungen ergeben⁸⁷, die eine Überarbeitung des in den beiden Studien erarbeiteten Bewertungsverfahrens erforderlich machen.

Weiterhin besteht aufgrund des Umstandes, dass Unfälle der Kategorie 5 statistisch nicht ausreichend detailliert erfasst werden, das Problem, dass eine abschnitts- und fahrzeugklassenbezogene Zuordnung der Kosten nicht vorgenommen werden kann. Da diese Unfälle – wie im Kapitel 7.2 gezeigt – jedoch einen geringen Beitrag zu den gesamten Unfallkosten liefern, wäre der mit einer detaillierten Erfassung und Auswertung dieser Unfälle verbundene Aufwand um ein Vielfaches größer als der damit erzielte Nutzen einer verbesserten Genauigkeit der Berechnungsergebnisse externer Kosten.

8.2 **Lärmkosten**

Es besteht dringender Forschungsbedarf zur Quantifizierung der Lärmkosten außerhalb von Wohnungen unter Anwendung objektiver Bewertungsverfahren. Erste Überlegungen zu einer möglichen Verfahrensweise, dessen Ergebnisse kompatibel zu der hier entwickelten Berechnungsmethodik sind, wurden im Kapi-

⁸⁷ Bspw. hinsichtlich der Pflegekosten durch Einführung der Pflegeversicherung als eigenständige gesetzliche Sozialversicherung.

tel 4.2.3.1 auf der Basis des Verfahrens von [ROTHENGATTER ET AL. 1999] angestellt.

Darüber hinaus sollten epidemiologische Studien zur Quantifizierung des Einflusses von Lärm auf die Gesundheit forciert werden. Neben den beiden in dieser Arbeit berücksichtigten Krankheiten ischämische Herzkrankheit und Hypertonie besteht die Gewissheit, dass dauerhafte Lärmexposition bspw. zur Schwächung des Immunsystems und damit einer höheren Anfälligkeit gegenüber Infektionskrankheiten führt.

Letztlich sind Untersuchungen über die schadhafte Wirkungen von Lärm auf die Tierwelt und ihrer Bedeutung für die Wertschöpfung anzustrengen, um diese Kosten ebenfalls berücksichtigen zu können.

8.3 Kosten durch Beiträge zum Klimawandel

Aufgrund des vielfältigen und komplexen Wirkungsgefüges im Zusammenhang mit dem anthropogenen Treibhauseffekt ist davon auszugehen, dass Ergebnisse von Bewertungsverfahren, die auf dem Schadenskostenansatz basieren, kurz- und mittelfristig weiterhin eher als grobe Abschätzung zu betrachten sind. Daher müssen vermutlich auch zukünftig zunächst Kostensätze, die auf Grundlage des Vermeidungskostenansatzes bestimmt werden, zur Berechnung von Kosten durch Beiträge zum Klimawandel herangezogen werden. Die Abweichungen der aktuell in Studien verwendeten Kostensätze resultieren u. a. aus den Unterschieden der zugrunde liegenden Annahmen bzgl. des Vermeidungsumfanges und -zeitraums. Um diese Abweichungen zukünftig zu vermeiden und damit auch die Akzeptanz für entsprechende Kostenberechnungen zu erhöhen, ist es aus Sicht des Verfassers notwendig, möglichst langfristige Vorgaben bzgl. der angestrebten Reduzierungsquoten des möglichen Nachfolgeabkommens des Kyoto-Protokolls zu berücksichtigen. In Abhängigkeit vom Ergebnis dieser Festlegungen ist der in dieser Arbeit verwendete Kostensatz zu überarbeiten bzw. zu aktualisieren.

Sollte sich durch den sich bereits abzeichnenden Klimawandel die Datenlage zur Ermittlung von Kostensätzen auf Basis des Schadenskostenansatzes aufgrund eintretender Schäden wesentlich verbessern, ist die Entwicklung und Anwendung derartiger Kostensätze angezeigt.

8.4 Kosten durch Luftverschmutzung

Dringender Handlungsbedarf besteht – auch als Ergebnis der Sensitivitätsanalyse – im Hinblick auf die Ermittlung des Mengengerüsts zur Quantifizierung der Gebäudeschäden. Verbindliche Regelungen zur Erfassung der zur Anwendung der vorliegenden Bewertungsverfahren notwendigen Eingangsdaten sind Vor-

aussetzung, um langfristig ein übertragbares und gleichermaßen genaues Verfahren zur Ermittlung luftschadstoffbedingter Gebäudeschäden anbieten und in die Berechnungsmethodik der vorliegenden Arbeit integrieren zu können.

In einem weiteren Schritt müssen – ähnlich wie für den Kostenbereich "Lärmkosten" – Verfahren zur Quantifizierung der Gesundheitsschäden von Menschen außerhalb von Wohnungen und zur Ermittlung der Wirkungen auf die Tierwelt und deren Einfluss auf die Wertschöpfung entwickelt werden, um diese Kosten ebenfalls berücksichtigen zu können.

Weiterhin ist das Ausbreitungs- und Verteilungsmodell zur Berechnung der Immissionen nach **[FGSV 2005]** zu verbessern. Dabei muss insbesondere die Beschränkung des Verfahrens auf den Bereich 200 m beidseits der Straße fallengelassen werden, da auf der Basis der Ergebnisse des Beispielnetzes auch jenseits dieser Grenze erhöhte Schadstoffkonzentrationen zu vermuten sind. Im Rahmen dieser Weiterentwicklung sollte beachtet werden, dass sich das Verfahren weiterhin durch einen einfachen Berechnungsalgorithmus auszeichnet, um die Übertragbarkeit der gesamten Berechnungsmethodik auch im Falle nicht vorliegender Immissionsdaten zu garantieren.

8.5 Kosten für Natur und Landschaft

Bzgl. dieses Kostenbereichs besteht die Notwendigkeit, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem Auswirkungen auf die Wertschöpfung durch die Funktionsbeeinträchtigung der Flächen quantitativ erfasst und auf Basis des Schadenskostenansatzes monetär bewertet werden können. Dieses Verfahren muss langfristig den aktuell verwendeten biozentrischen Ansatz ersetzen.

8.6 Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung

Obschon hier dem biozentrischen Ansatz gegenüber dem Verfahren nach **[SCHREYER ET AL. 2006]** der Vorzug gegeben wurde, muss die letztgenannte Methode weiterentwickelt werden, da der biozentrische Ansatz mit der Aufteilung der Gesamtkosten auf die Jahre seit 1950 systematisch zu im Zeitverlauf niedrigeren Kosten führt und daher langfristig durch eine andere Verfahrensweise ersetzt werden muss. Die Weiterentwicklung des Verfahrens nach **[SCHREYER ET AL. 2006]** muss insbesondere auf die Ermittlung fundierter Schadstoffgrenzwerte abzielen, um die häufig aus politischen Erwägungen festgelegten Werte der nationalen Immissionsverordnungen abzulösen. Weiterhin könnte die Ermittlung der jährlich auszutauschenden Bodenmassen über einen Leitschadstoff in Anlehnung an die Vorgehensweise bei der Kostenermittlung durch Luftverschmutzung erfolgen.

8.7 Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse

Wie durch die Erläuterungen des Kapitels 4.7.2 deutlich wird, können durch die hier entwickelte Berechnungsmethodik nicht alle der in Verbindung mit vor- und nachgelagerten Prozessen entstehenden Wirkungen erfasst und bewertet werden. Ziel weiterer Studien muss daher die quantitative Ermittlung und Bewertung weiterer Prozesse sein. Erste Hinweise auf diese Prozesse gibt das Kapitel 4.7.2.

9 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde eine alternative Berechnungsmethodik zur Ermittlung abschnitts-, fahrzeugklassen- und fahrleistungsbezogener externer Kosten für Autobahnen unter Berücksichtigung zuvor getroffener methodischer Festlegungen entwickelt. Zur Abschnittsbildung dienten Anschlussstellen und Autobahnkreuze; es wurde zwischen den Fahrzeugklassen "Lkw ≥ 12 t zGG" und "Sonstige Fahrzeuge" unterschieden.

Hinsichtlich der Grundlagen, auf denen die Berechnungsmethodik basiert, wurde von den Festlegungen, denen in den Studien der vergangenen Jahre nahezu ausschließlich gefolgt wurde, bewusst und begründet abgewichen. Bzgl. der Kostenrechnungsart wurde die Durchschnitts- bzw. Vollkostenrechnung verfolgt, um eine methodische Konsistenz zur Wegekostenrechnung herzustellen und das Ziel der Kostendeckung zu erreichen. Weiterhin wurden ausschließlich Schäden bewertet, die Auswirkungen auf die Wertschöpfung haben. Die dazu verwendeten Kostensätze basieren mehrheitlich auf dem Schadenskostenansatz. Alternativ wurde zur Ermittlung des Wertegerüsts auf den Vermeidungskostenansatz oder die Marktdatendivergenzanalyse zurückgegriffen. Kostensätze, die auf Zahlungsbereitschaftsverfahren basieren, wurden in diesem Zusammenhang nicht verwendet, da mit diesen Ansätzen keine Marktpreise bestimmt werden können. Die für die Berechnungsmethodik genutzten Kostensätze wurden z. T. aus anderen Untersuchungen zu externen Kosten übernommen, so weit sie die methodischen Anforderungen erfüllten. Lagen keine entsprechenden Kostensätze vor, wurden diese im Rahmen dieser Arbeit entwickelt. Bei der Kostenermittlung wurden alle Kosten, die innerhalb der Gruppe der Verkehrsteilnehmer, den Angehörigen deren Haushalte bzw. direkten Familienangehörigen oder anderen Wirtschaftssubjekten verbleiben, die die Verkehrsteilnehmer mit der Fahrt beauftragt haben, als intern betrachtet. Die Diskontrate wurde zu 2 % gewählt, um der widerstreitenden Argumentation bzgl. höherer und niedriger Diskonraten gleichermaßen nachzukommen. Der Preisstand des Wertegerüsts ist 2004, während das Mengengerüst aus dem Jahr 2005 bzw. für die Unfallkosten aus den Jahren 2004 bis 2006 stammt. Die Kostenallokation erfolgte anhand der Daten des Mengengerüsts, wissenschaftlicher Erkenntnisse hinsichtlich der Wirkungsprozesse oder vereinfachender Annahmen, die wiederum auf wissenschaftlichen Erkenntnissen basieren.

Die Berechnungsmethodik berücksichtigt die Kostenbereiche "Unfallkosten", "Lärmkosten", "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel", "Kosten durch Luftverschmutzung", "Kosten für Natur und Landschaft", "Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung" und "Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse".

Die Methodik wurde auf das Beispielnetz der Autobahnen in Thüringen angewendet, um die Bandbreite der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten für unterschiedliche Abschnitte und die betrachteten Fahrzeugklassen abzuschätzen. Für das Beispielnetz ergaben sich deutliche Unterschiede: Die fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der Fahrzeugklasse "Lkw ≥ 12 t zGG" lagen zwischen 10,6 ct/Fz*km und 491,7 ct/Fz*km, während sich für "Sonstige Fahrzeuge" Werte zwischen 3,7 ct/Fz*km und 77,0 ct/Fz*km einstellten. Die starken Abweichungen ergaben sich maßgeblich durch die inhomogene Verteilung der von Luftschadstoffen betroffenen Bevölkerung entlang des betrachteten Beispielnetzes. Die mittleren fahrleistungsbezogenen Kosten betragen für "Lkw ≥ 12 t zGG" 22,0 ct/Fz*km und für "Sonstige Fahrzeuge" 5,6 ct/Fz*km. Die Gesamtkosten des Beispielnetzes wurden zu 236.288.000 €/a für die Fahrzeugklasse "Lkw ≥ 12 t zGG" und 127.330.000 €/a für die Fahrzeugklasse "Sonstige Fahrzeuge" berechnet.

Auf der Basis der Ergebnisse des Beispielnetzes wurde weiterhin die Internalisierung der Kosten über ein nach Autobahnabschnitten differenziertes Preissystem diskutiert. Aufgrund der bei Implementierung eines derartigen Systems zu vermutenden erhöhten Ausweichverkehre auf die dem Autobahnnetz nachgeordneten Straßen, wurde empfohlen, zunächst für alle Abschnitte eine Gebühr in Höhe der mittleren fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten anzusetzen, sollte eine derartige Internalisierungsstrategie verfolgt werden.

Eine abschließende Sensitivitätsanalyse gab Aufschluss über die Robustheit der Ergebnisse gegenüber Variationen einzelner Parameter bzw. Annahmen. Dabei konnte aufgezeigt werden, dass die Ergebnisse bei Änderungen der Annahmen zu den Kostenbereichen "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel" und "Kosten durch Luftverschmutzung" und insbesondere bei Variation der Diskontrate erheblich schwanken.

Mit der vorliegenden Arbeit liegt erstmals eine auf aktuellen Daten basierende Berechnungsmethodik für externe Kosten vor, die eine Durchschnitts- bzw. Vollkostenermittlung unter Vermeidung von Zahlungsbereitschaftsverfahren erlaubt, dessen Wertegerüst speziell an deutsche Gegebenheiten angepasst ist und das sich durch eine einfache Übertragbarkeit auszeichnet. Weiterhin steht damit erstmals eine nicht zur Wegekostenrechnung im Widerspruch stehende Methodik zur Verfügung. Mit den Berechnungsergebnissen für ein Beispielnetz liegen außerdem Erkenntnisse vor, in welchen Bandbreiten sich die fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten einer derartig ausgerichteten Berechnungsmethodik in der Praxis bewegen.

Die vorliegende Arbeit kann und soll auch als Beitrag zur politischen Diskussion um das Thema "Internalisierung von externen Kosten" verstanden werden und

besitzt damit auch diesbezüglich Aktualität. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass die Ergebnisse im Vergleich zu anderen Studien aufgrund der getroffenen methodischen Festlegungen im unteren Wertebereich liegen. Insgesamt muss vor allem aufgrund von derzeitigen Quantifizierungsproblemen davon ausgegangen werden, dass die tatsächlichen externen Kosten des Verkehrs deutlich über den in dieser Arbeit ermittelten Ergebnissen liegen.

10 Quellenverzeichnis

21. BIMSCHV 2002:

Einundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen) vom 7. Oktober 1992 (Bundesgesetzblatt I S. 1730), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 6. Mai 2002 (Bundesgesetzblatt I S. 1566) geändert worden ist

22. BIMSCHV 2007:

Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft) in der Fassung der Bekanntmachung vom 4. Juni 2007 (Bundesgesetzblatt I S. 1006)

31. BIMSCHV 2004:

Einunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen) vom 21. August 2001 (Bundesgesetzblatt I S. 2180), geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (Bundesgesetzblatt I S. 3758)

33. BIMSCHV 2004:

Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes (Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen) vom 13. Juli 2004 (Bundesgesetzblatt I S. 1612)

34. BIMSCHV 2006:

Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung) vom 6. März 2006 (Bundesgesetzblatt I S. 516)

ABERLE 1997:

Aberle, Gerd: Transportwirtschaft: einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen. 2. Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 1997

ALTFahrzeugG 2002:

Gesetz über die Entsorgung von Altfahrzeugen (Altfahrzeuggesetz) vom 21. Juni 2002 (Bundesgesetzblatt I S. 2199)

ALTFAHRZEUGV 2002:

Altfahrzeug-Verordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Juni 2002 (Bundesgesetzblatt I S. 2214), zuletzt geändert durch Artikel 364 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (Bundesgesetzblatt I S. 2407)

AVANTTIME 2009:

avantTIME Consulting GmbH: Das Infoportal zum Emissionshandel und Klimaschutz – Marktinformationen.

URL: http://www.co2-handel.de/article102_0.html. Letzter Zugriff am: 09.10.2009

BACHER 1994:

Bacher, Johann: Clusteranalyse – eine anwendungsorientierte Einführung. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 1994

BABISCH 2006:

Babisch, Wolfgang: Transportation Noise and Cardiovascular Risk - Review and Synthesis of Epidemiological Studies - Dose-effect Curve and Risk Estimation. WaBoLu-Heft 01/06. Berlin: 2006

BAST 2009:

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland 2004. BASt-Info 02/2006. URL: http://www.bast.de/cln_007/nn_40694/DE/Publikationen/Infos/2007-2006/02-2006.html. Letzter Zugriff am: 09.10.2009

BATEMAN ET AL. 2001:

Bateman, Ian et al.: The Effect of Road Traffic on Residential Property Values: A Literature Review and Hedonic Pricing Study. Norwich: 2001

BAUM, KLING 1997:

Baum, Herbert; Kling, Thomas: Verbesserung der Verkehrssicherheit durch Versicherungsanreize. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Heft M 82. Bergisch-Gladbach: Wirtschaftsverlag NW, 1997

BAUM ET AL. 1998:

Baum, Herbert et al.: Volkswirtschaftliche Kosten und Nutzen des Verkehrs. Forschungsarbeiten aus dem Straßen- und Verkehrswesen, Heft 108. Bonn: Kirschbaum Verlag, 1998

BAUM, HÖHNSCHIED 1999:

Baum, Herbert; Höhnscheid, Karl-Josef: Volkswirtschaftliche Kosten der Personenschäden im Straßenverkehr. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 102. Bergisch-Gladbach: Wirtschaftsverlag NW, 1999

BAUM ET AL. 2000:

Baum, Herbert et al.: Volkswirtschaftliche Kosten der Sachschäden im Straßenverkehr. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 119. Bergisch-Gladbach: Wirtschaftsverlag NW, 2000

BBODSCHV 1999:

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (Bundesgesetzblatt I S. 1554), geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (Bundesgesetzblatt I S. 3758)

BECKER ET AL. 2002:

Becker, Udo et al.: Ermittlung der Kosten und Nutzen von Verkehr in Sachsen - Hauptstudie. Abschlußbericht der Studie im Auftrag des Freistaates Sachsen vertreten durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG). Dresden: 2002

BERNSTEIN ET AL. 2007:

Bernstein, Lenny; et al.: Klimaänderung 2007 – Synthesebericht. Berlin: 2007

BGB 2009:

Bürgerliches Gesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Januar 2002 (Bundesgesetzblatt I S. 42, 2909; 2003 I S. 738), das zuletzt durch das Gesetz vom 28. September 2009 (Bundesgesetzblatt I S. 3161) geändert worden ist

BICKEL, FRIEDRICH 1995:

Bickel, Peter; Friedrich, Rainer: Was kostet uns die Mobilität? Externe Kosten des Verkehrs. Heidelberg: 1995

BICKEL 2005:

Bickel, Peter: Externe Grenzkosten verkehrsbedingter Umwelt- und Gesundheitsrisiken: Eine orts- und situationsabhängige Analyse auf Basis des Wirkungspfadansatzes. Baden-Baden: 2005

BICKEL, FRIEDRICH 2005:

Bickel, Peter; Friedrich, Rainer: ExternE – Externalities of Energy - Methodology 2005 Update. Stuttgart: 2005

BIMSCHG 2007:

Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (Bundesgesetzblatt I S. 3830), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23. Oktober 2007 (Bundesgesetzblatt I S. 2470)

BLEI 2008:

Blei, Stefanie: Externe Gesundheitskosten des Straßenverkehrs am Beispiel der Komponente "Luftschadstoffe". Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, Professur Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Wissenschaftliches Kolleg, 2008

BMV 1969:

Arbeitsgruppe Wegekosten im Bundesverkehrsministerium: Bericht über die Kosten der Wege des Eisenbahn-, Strassen- und Binnenschiffsverkehrs in der Bundesrepublik Deutschland. Schriftenreihe des Bundesministers für Verkehr, Heft 34. Bad Godesberg: Neuer Vorwärts-Verlag, 1969

BOFINGER 2007:

Bofinger, Peter: Grundzüge der Volkswirtschaftslehre – Eine Einführung in die Wissenschaft von Märkten. 2. Auflage. München: Pearson Studium 2007

BORJANS 1983:

Borjans, Rita: Immobilienpreise als Indikatoren der Umweltbelastung durch den städtischen Kraftverkehr. Buchreihe des Instituts für Verkehrswissenschaft an der Universität zu Köln, Heft 44. Düsseldorf: Verkehrs-Verlag J. Fischer, 1983

BUTTON 1994:

Button, Kenneth: Overview of Internalising the Social Costs of Transport. In: Internalising the Social Costs of Transport, European Conferences of Ministers of Transport, S. 7 - 30. Paris: 1994

CEZANNE 2005:

Cezanne, Wolfgang: Allgemeine Volkswirtschaftslehre. 6. Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2005

CRQUI ET AL. 2003:

Criqui, Patrick et al.: Greenhouse Gas Reduction Pathways in the UNFCCC Process up to 2025 – Technical Report. 2003

DALES, 1968:

Dales, John Harkness: Pollution property & prices: An essay in policy-making and economics. University of Toronto Press, 1968

DEN BOER, SCHROTEN 2007:

den Boer, Eelco; Schrotten, Arno: Traffic noise reduction in Europe. CE Delft. 2007

DERRIKS, MAK 2007:

Derriks, Harry M.; Mak, Peter M.: IRTAD Special Report - Underreporting of Road Traffic Casualties. Den Haag: Ministry of Transport, Public Works and Water management, 2007

DESTATIS 2006:

Statistisches Bundesamt Deutschland (Hrsg.): Wohngeld- und Mietenbericht 2006. Wiesbaden: 2006

DESTATIS 2007:

Statistisches Bundesamt Deutschland (Hrsg.): Bevölkerung und Erwerbstätigkeit – Haushalte und Familien – Ergebnisse des Mikrozensus 2005. Fachreihe 1, Band 3. Wiesbaden: 2007

DESTATIS 2008A:

Statistisches Bundesamt Deutschland (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch 2008 für die Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden: 2008

DESTATIS 2008B:

Statistisches Bundesamt Deutschland (Hrsg.): Gesundheit – Krankheitskosten. Wiesbaden: 2008

DESTATIS 2009:

Statistisches Bundesamt Deutschland: Preise - Verbraucherpreisindizes für Deutschland, Lange Reihen ab 1948. Wiesbaden: 2009

DESTATIS 2010:

Statistisches Bundesamt Deutschland: Genesis-Online Datenbank. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>. Letzter Zugriff am: 10.02.2010

DOGS, PLATZ 1991:

Dogs, Ernst; Platz, Holger: Externe Kosten des Verkehrs: Schiene, Straße, Binnenschifffahrt. Gutachten im Auftrag der Deutschen Bundesbahn. Essen: 1990

ECKEY, STOCK 2000:

Eckey, Hans-Friedrich; Stock, Wilfried: Verkehrsökonomie - eine empirisch orientierte Einführung in die Verkehrswissenschaften. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2000

ECOINVENT 2003A:

Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Ecoinvent Data v1.01. Final reports ecoinvent 2000 No. 1-15. up-to-date data from www.ecoinvent.ch. Dübendorf: 2003

ECOINVENT 2003B:

Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Life Cycle Inventories of Transport Services, Data v1.01 (2003). Ecoinvent report No. 14. Dübendorf: 2003

ECOINVENT 2004A:

Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Ecoinvent Data v1.1. Final reports ecoinvent 2000 No. 1-15. retrieved from www.ecoinvent.ch. Dübendorf: 2004

ECOINVENT 2004B:

Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Life Cycle Inventories of Transport Services, Data v1.1 (2004). Ecoinvent report No. 14. Dübendorf: 2004

EMDE ET AL. 1979:

Emde, Wolfgang et al.: Einheitliche Kostensätze für die volkswirtschaftliche Bewertung von Straßenverkehrsunfällen. In: Straße und Autobahn, Heft 9. 1979

FRIEDRICH, KREWITT 1997:

Friedrich, Rainer; Krewitt, Wolfram: Umwelt- und Gesundheitsschäden durch die Stromerzeugung - Externe Kosten von Stromerzeugungssystemen. Berlin: Springer, 1995

FGSV 1956:

Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), 1. Teil, Querschnittsgestaltung, RAL-Q. Bad Godesberg: Kirschbaum Verlag, 1956

FGSV 1974:

Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), Teil 1, Querschnitte (RAL-Q). 1974

FGSV 1982:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Querschnitte, RAS-Q. Köln: 1982

FGSV 1990:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen. Köln: FGSV-Verlag, 1990

FGSV 1996:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Querschnitte, RAS-Q. Köln: FGSV-Verlag, 1996

FGSV 1997:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Entwurf Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS). Köln: FGSV-Verlag, 1997

FGSV 2003:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten. Köln: FGSV-Verlag, 2003

FGSV 2005:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Merkblatt über die Luftverunreinigungen an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung, Ausgabe 2002, geänderte Fassung 2005. Köln: FGSV-Verlag, 2005

FGSV 2006:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA). Köln: FGSV-Verlag, 2006

GABLER 1990:

Gabler Verlag (Hrsg.): Volkswirtschaftslexikon. 3. Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag 1990

GBE 2009:

Statistisches Bundesamt Deutschland (Hrsg.): Gesundheitsberichterstattung des Bundes. URL: www.gbe-bund.de. Letzter Zugriff am 14.09.2009

GERIKE 2005:

Gerike, Regine: Wie kann das Leitbild nachhaltiger Verkehrsentwicklung konkretisiert werden? – Ableitung grundlegender Aufgabenbereiche. Dresden: Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften, Dissertation, 2005

GLÜCK ET AL. 1986:

Glück Karl: Zur monetären Bewertung volkswirtschaftlicher Kosten durch Lärm. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Kosten der Umweltverschmutzung, UBA-Berichte 7, S. 187 – 198. Berlin: Schmidt Verlag, 1986

GRIEFAHN 2003:

Griefahn, Babara: Physiologische Lärmwirkungen. In: Schuemer et al.: Wirkungen von Schienen- und Straßenverkehrslärm. Bochum: 2003

GRUPP 1986:

Grupp, H.: Die sozialen Kosten des Verkehrs – Grundriss zu ihrer Berechnung. In: Verkehr und Technik, Heft 9, S. 359 – 366 und Heft 10 S. 403 – 407. 1986

HACKS ET AL. 2007:

Hacks, Susanne et al.: Schmerzensgeldbeiträge 2007. 25. Auflage. Bonn: Anwalts-Verlag, 2007

HARTUNG, ELPELT 2007:

Hartung, Joachim; Elpelt, Bärbel: Multivariate Statistik – Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. 7. Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2007

HAUTZINGER ET AL. 2005A:

Hautzinger, Heinz et al.: Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 120. Bergisch-Gladbach: Wirtschaftsverlag NW, 2005

HAUTZINGER ET AL. 2005B:

Hautzinger, Heinz et al.: Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 121. Bergisch-Gladbach: Wirtschaftsverlag NW, 2005

HAWKINS 1999:

Hawkins, Rhian: Review of Studies on External Costs of Noise. London: 1999

HENSE 2006:

Hense, Hans-Werner: Arterielle Hypertonie - Prävalenz und Inzidenz. In: Schauder P. et al. (Hrsg.): Zukunft sichern: Senkung der Zahl chronisch Kranker - Verwirklichung einer realistischen Utopie, S. 156-161. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag 2006

HÖHNE ET AL. 2005:

Höhne, Niklas: Options for the second commitment period of the Kyoto Protocol. Reports/Umweltbundesamt 02/05. Cologne: 2005

HOLENSTEIN 2000:

Holenstein, Jürg: Die Belastung mit PAK und Blei an Straßen im Kanton Zürich. St. Gallen: 2000

HUCKESTEIN, VERRON 1995:

Huckestein, Burkhard; Verron, Hedwig: Externe Effekte des Verkehrs. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Mobilität um jeden Preis? Expertenworkshop zu den externen Kosten des Verkehrs und den Möglichkeiten sie zu verringern, Texte/Umweltbundesamt 66/96, S. 7 - 53. Berlin: 1996

HLUG 2009:

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Umweltatlas Hessen – Schwefeldioxid.

URL: http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/luft/ik/qualitaet/so2/so2_txt.htm. Letzter Zugriff am: 09.10.2009

ISECKE ET AL. 1991:

Isecke, Bernd et al.: Volkswirtschaftliche Verluste durch umweltverschmutzungsbedingte Materialschäden in der Bundesrepublik Deutschland. Texte/Umweltbundesamt 36/91. Berlin: 1991

KATHMANN ET AL. 2007:

Kathmann, Thorsten et al.: Straßenverkehrszählung 2005 - Tabellenband. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 164, Teil 2. Bergisch-Gladbach: Wirtschaftsverlag NW, 2007

KELLER ET AL. 2004:

Keller, Mario et al.: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA), Version 2.1. Bern: 2004

KLOOCK ET AL. 2005:

Kloock Josef et al.: Kosten- und Leistungsrechnung. 9. Auflage. Stuttgart: Lucius & Lucius, 2005

KLUIZENAAR ET AL. 2001:

Kluizenaar, Yvonne et al.: Adverse effects of noise exposure on health - a state of the art summary. Leiden: 2001

KNÖRR 2004:

Knörr, Wolfram: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1 - Basisdaten Deutschland. Heidelberg: 2004

KOCH ET AL. 2005:

Koch, Hans-Joachim: Umwelt und Straßenverkehr - Hohe Mobilität - Umweltverträglicher Verkehr. Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen. Berlin: 2005

KOM 1970:

Richtlinie 1108/70 des Rates der Europäischen Gemeinschaft über die Berichtspflicht der Mitgliedsstaaten über die jährlichen Ausgaben für Bau, Betrieb und Ausbau der Verkehrswege sowie über Verkehrsnachfrage. Brüssel: 1970

KOM 1995:

Faire und effiziente Preise im Verkehr – Politische Konzepte zur Internalisierung der externen Kosten des Verkehrs in der Europäischen Union. Grünbuch. Luxemburg: 1995

KOM 1999A:

Richtlinie 1999/62/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 17. Juni 1999 über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge. Brüssel: 1999

KOM 1999B:

Richtlinie 1999/62/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. Brüssel: 1999

KOM 2000:

Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge. Brüssel: 2000

KOM 2002:

Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. Brüssel: 2002

KOM 2003:

Richtlinie 2003/10/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Februar 2003 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm). Brüssel: 2003

KOM 2005:

Mitteilung der Kommission an den Rat, an das Europäische Parlament, an den Europäischen Wirtschaft- und Sozialausschuss und an den Ausschuss der Regionen: Strategie für eine erfolgreiche Bekämpfung der globalen Klimaänderung. Brüssel: 2005

KOM 2006A:

Richtlinie 2006/38/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 17. Mai 2006 zur Änderung der Richtlinie 1999/62/EG über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge. Brüssel: 2006

KOM 2006A:

Richtlinie 2006/103/EG des Europäischen Rates vom 20. November 2006 zur Anpassung bestimmter Richtlinien im Bereich Verkehrspolitik anlässlich des Beitritts Bulgariens und Rumäniens. Brüssel: 2006

KOM 2008:

Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 1999/62/EG über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge. Brüssel: 2008

KRIEBERNEGG 2005:

Kriebernegg, Georg: Inkrementelle Verkehrsnachfragemodellierung mit Verhaltensparametern der Verkehrsmittelwahl im Personenverkehr – Gezeigt am Modellbeispiel Oberösterreich für den Einsatz eines großflächigen Road-Pricing-Systems. Graz: Technische Universität Graz, Fakultät für Bauingenieurwissenschaften, Dissertation, 2005

KRELL 1990:

Krell, Karl: Handbuch für Lärmschutz an Strassen und Schienenwegen. 2. Auflage. Darmstadt: Elsner Verlag, 1990

KRUPP, HUNDHAUSEN 1984:

Krupp, Rudolf; Hundhausen, Gerd: Volkswirtschaftliche Bewertung von Personenschäden im Straßenverkehr. Bergisch-Gladbach: 1984

KUNZE 2009:

Kunze, Günther: Skript für die Vorlesung Grundlagen des Maschinenbaus, Teil 3.4: Maschinen zur Energiegewinnung. Dresden: Technische Universität Dresden, Professur für Baumaschinen und Fördertechnik. URL: http://www.baumaschine.de/Portal/Material/gmb_wing/p34/chapter.php4. Letzter Zugriff am 18.09.2009

KVBB 2005:

Kassenärztliche Vereinigung Brandenburg: Qualitätsbericht DMP KHK der Gemeinsamen Einrichtungen Land Brandenburg. 2005

LINK ET AL. 2002:

Link, Heike et al.: UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency (UNITE), Deliverable 5, Annex 1, The Pilot Accounts for Germany. Version 2.5. Leeds: 2002

LUBW 2006:

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Umweltdaten 2006 Baden-Württemberg. Karlsruhe: Engelhardt und Bauer 2006

LBW 2009:

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Feinstaub – Wirkungen auf den Menschen. URL: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/18796/>. Letzter Zugriff am 14.09.2009

MAIBACH ET AL. 1995:

Maibach, Markus et al.: Ökoinventar Transporte - Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen. Zürich: 1995

MAIBACH ET AL. 1996:

Maibach, Markus et al.: Die vergessenen Milliarden – Externe Kosten im Energie- und Verkehrsbereich. Bern: Haupt-Verlag 1996

MAIBACH ET AL. 2000:

Maibach, Markus et al.: Externe Kosten des Verkehrs – Unfall-, Umwelt- und Staukosten in Westeuropa. Karlsruhe/Zürich: 2000

MAUCH 1992:

Mauch, Samuel P.: Gebäudeschäden durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung. Schlussbericht zum GVF-Auftrag 197. Bern: 1992

MAUCH ET AL. 1995:

Mauch, Samuel P.: Externe Effekte des Verkehrs. Karlsruhe/Zürich: 1995

MAUTSTRAUSDEHNV 2006:

Mautstreckenausdehnungsverordnung vom 8. Dezember 2006 (Bundesgesetzblatt I S. 2858)

METRECONOMICA 2001:

Metroeconomica Limited: Monetary valuation of noise effects. Draft final report. 2001

NAVRUD, 2002:

Navrud, Ståle: The State-Of-The-Art on Economic Valuation of Noise. Agricultural University of Norway. Aas: 2002

NELLTHROP ET AL. 2001:

Nellthorp, John et al.: UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency (UNITE), Valuation Convention for UNITE. Version 1.0. Leeds: 2001

NEUENSCHWANDER ET AL. 1991:

Neuenschwander, René et al.: Soziale Kosten von Verkehrsunfällen in der Schweiz. Schlussbericht zur Studie im Auftrag des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen des Eidgenössischen Verkehrs- und Energiedepartements und des Bundesamtes für Bildung und Wissenschaft des Eidgenössischen Departements des Innern. Bern: 1991

NIEDERAU ET AL. 2008:

Niederau, Arnold et al.: Fortschreibung und Weiterentwicklung des Landesemissionskatasters (LEK) von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen, Schwerpunkt Straßenverkehr. Aachen: 2008

ÖAW 1996:

Österreichische Akademie der Wissenschaften – Kommission für Reinhaltung der Luft: Flüchtige Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre – Entstehung, Verhalten und Wirkung – Luftqualitätskriterien VOC. Wien: 1996

OTT 2004:

Ott, Walter: Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft - Monetarisierung der Verluste und Fragmentierung von Habitaten. Bern: 2004

PARRY ET AL. 2007:

Parry, Martin et al.: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: 2007

POMMEREHNE 1986:

Pommerehne, Werner W.: Der monetäre Wert einer Flug- und Straßenlärmreduktion: Eine empirische Analyse auf der Grundlage individueller Präferenzen. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Kosten der Umweltverschmutzung, UBA-Berichte 7, S. 199 – 214. Berlin: Schmidt Verlag, 1986

RADKE 2007:

Radke, Sabine (Bearb.): Verkehr in Zahlen 2007/2008. Hamburg: DVV Media Group, 2007

RÄTHE, ZACHARIAS 2009:

Räthe, Kathrin; Zacharias, Frank: Lärmberechnung für die thüringischen Bundesautobahnen. Jena: 2009

RICH, NIELSEN 2002:

Rich, Jeppe H.; Nieslen, Otto A.: Hedonic Evaluation of Traffic Noise – an empirical study. 2002

ROMMERSKIRCHEN ET AL. 2002:

Rommerskirchen, Stefan et al.: Wegekostenrechnung für das Bundesfernstraßennetz unter Berücksichtigung der Vorbereitung einer streckenbezogenen Autobahnbenutzungsgebühr. Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE-Nr. 96.693/2001 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen. Basel/Karlsruhe: 2002

ROMMERSKIRCHEN ET AL. 2007:

Rommerskirchen, Stefan et al.: Aktualisierung der Wegekostenrechnung für die Bundesfernstraßen in Deutschland. Endbericht zum Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Basel/Karlsruhe: 2007

ROTHENGATTER 1974:

Rothengatter, Werner: Kosten- und nachfrageorientierte Preisbildung im Verkehr. Karlsruher Beiträge zur Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung, Heft 1. Karlsruhe: Universität Karlsruhe, Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung, 1974

ROTHENGATTER ET AL. 1999:

Rothengatter, Werner et al.: Entwicklung eines Verfahrens zur Aufstellung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte als Beitrag zur Bundesverkehrswegeplanung. Berichte/Umweltbundesamt 4/99. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1999

SACHVRAT 2005:

Sachverständigenrat zur Begutachtung der wirtschaftlichen Entwicklung: Potentialwachstum, Auszug aus dem Jahresgutachten 2005/2006. Wiesbaden: 2005

SCHIPPER 1996:

Schipper, Youdi: On the valuation of aircraft noise: A meta-analysis. Amsterdam: Titenberg Institute, Free University of Amsterdam, 1996

SCHMID 2005:

Schmid, Andreas: Externe Kosten des Verkehrs: Grenz- und Gesamtkosten durch Luftschadstoffe und Lärm in Deutschland. Stuttgart: Universität Stuttgart, Fakultät Maschinenbau, Dissertation, 2005

SCHREYER ET AL. 2004A:

Schreyer, Christoph et al.: External Costs of Transport – Update Study. Karlsruhe/Zürich: 2004

SCHREYER ET AL. 2004B:

Schreyer, Christoph et al.: Verkehrsbedingte Gebäudeschäden in der Schweiz, Aktualisierung der externen Kosten 2000. Bern: 2004

SCHREYER ET AL. 2006:

Schreyer, Christoph et al.: Externe Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs 2000 - Klima und bisher nicht erfasste Umweltbereiche, städtische Räume sowie vor- und nachgelagerte Prozesse. Bern: 2006

SCHÜTTE 1998:

Schütte, Christian: Road-pricing in der Praxis – Ein konkretes Preiskonzept für Deutschland. Schriftenreihe A des Instituts für Straßen- und Schienenverkehr, Heft 31 Berlin: Technische Universität Berlin, Dissertation, 1998

SCHULZ, WICKE 1987:

Schulz, Werner; Wicke, Lutz: Die Kosten des Lärms. In: Umwelt und Energie, Heft 1. 1987

SLIZYK 2006:

Slizyk, Andreas: Beck'sche Schmerzensgeld-Tabelle. 5. Auflage. München: Verlag C. H. Beck, 2006

SMITH, HUANG 1995:

Smith, Kerry V.; Huang, Ju-Chin: Can Markets Value Air Quality? A Meta-analysis of Hedonic Property Value Models. In: Journal of Political Economy, Volume 103, No. 1, S. 209 – 27. Chicago: 1995

SOGUEL 1994:

Soguel, Nils: Evaluation monétaire des atteintes à l'environnement: une étude hédoniste et contingente sur l'impact des transports. Neuchâtel: 1994

SOMMER ET AL. 1999:

Sommer, Heini et al.: Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution - An impact assessment project of Austria, France and Switzerland. Bern: 1999

SOMMER ET AL. 2002:

Sommer, Heini et al.: Unfallkosten im Straßen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998. Bern: 2002

SOMMER ET AL. 2004A:

Sommer, Heini et al.: Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000. Bern: 2004

SOMMER ET AL. 2004B:

Sommer, Heini et al.: Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000. Bern: 2004

SOMMER ET AL. 2007:

Sommer, Heini et al.: Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Straßenverkehr, Sport, Haus und Freizeit. Bern: 2007

SOMMER, NEUENSCHWANDER 1996:

Sommer, Heini; Neuenschwander, René: Monetarisierung der verkehrsbedingten externe Gesundheitskosten.GVF-Auftrag Nr. 272. Bern: 1996

STVUNFSTATG 1990:

Straßenverkehrsunfallstatistikgesetz vom 15. Juni 1990 (Bundesgesetzblatt I S. 1078), zuletzt geändert durch Artikel 298 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (Bundesgesetzblatt. I S. 2407)

TMLNU 2009:

Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (Hrsg.): Bericht zur Entwicklung der Landwirtschaft in Thüringen 2009. Erfurt: 2009

TLS 2009:

Thüringer Landesamt für Statistik: Flächen nach Art der tatsächlichen Nutzung nach Kreisen. URL:

<http://www.tls.thueringen.de/seite.asp?aktiv=dat01&startbei=datenbank/default2.asp>. Letzter Zugriff am 17.09.2009

TRUSIEWYTSCH 1999:

Trusiewytsch, Sabine: Privatisierung von Verkehrsinfrastruktur – Chancen und Risiken, aufgezeigt am Beispiel von Straßenverkehrswegen unter besonderer Berücksichtigung der Bundesautobahnen. Wirtschaftswissenschaftliche Hochschulschriften, Band 5. 1. Auflage. Berlin: Freie Universität Berlin, Dissertation, P+H Wissenschaftlicher Verlag, 1999

UBA 2005:

Umweltbundesamt (Hrsg.): Hintergrundpapier zum Thema Staub/Feinstaub (PM). Berlin: 2005

UBA 2007:

Umweltbundesamt (Hrsg.): Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Dessau: 2007

UBA 2009A:

Umweltbundesamt: Luft und Luftreinhalteung - Kohlenmonoxid (CO). URL: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/co.htm>. Letzter Zugriff am 14.09.2009

UBA 2009B:

Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt - Umweltzustand in Deutschland - Luftqualität in Ballungsräumen. URL: <http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=3594>, Letzter Zugriff am 14.09.2009

UBA 2009C:

Umweltbundesamt: Luft und Luftreinhalteung - Schwefeldioxid (SO₂). URL: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/so2.htm>. Letzter Zugriff am 14.09.2009

UBA 2009D:

Umweltbundesamt: Luft und Luftreinhalteung - Feinstaub. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/feinstaub.htm>. Letzter Zugriff am 14.09.2009

UBA 2009E:

Umweltbundesamt: Luftschadstoffe – Feinstaub - Überschreitungen im Jahr. URL: <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/trsyear.fwd?comp=PM1>. Letzter Zugriff am 14.09.2009

UBA 2009F:

Umweltbundesamt: Luftschadstoffe – Ozon - Überschreitungen im Jahr. URL: <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/trsyear.fwd?comp=O3>. Letzter Zugriff am 14.09.2009

UBA 2009 G:

Umweltbundesamt: Luft und Luftreinhalteung - Wirkungen von Luftschadstoffen in Ökosystemen - Schwermetalle. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/luft/eintraege-wirkungen/schwermetalle.htm>. Letzter Zugriff am 14.09.2009

UNFCC 2008:

United Nations Framework Convention on Climate Change (Hrsg.): National greenhouse gas inventory data for the period 1990–2006. Poznan: 2008

VBBO 1998:

Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) vom 1. Juli 1998 (Stand am 1. Juli 2008)

VBUS 2006:

Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen (VBUS) vom 22. März 2006. Veröffentlicht im Bundesanzeiger Nummer 154a, Jahrgang 58. 2006

VUTUC ET AL. 2010:

Vutuc, Christian et al.: Einführung in die Epidemiologie - Schriftliche Unterlagen für Medizin-Studierende des Block 1. Wien: Medizinische Universität Wien, Abteilung für Epidemiologie.

URL: http://www.meduniwien.ac.at/sg/files/16/306/epi_block1_aktuell.pdf. Letzter Zugriff am 08.03.2010

WEINBERGER ET AL. 1991:

Weinberger, Marius: Kosten des Lärms in der Bundesrepublik Deutschland. Berichte/Umweltbundesamt 19/91. Berlin: Schmidt Verlag, 1991

WHO 2000:

World Health Organisation (Hrsg.): Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series, No. 91 Second Edition. Copenhagen: 2000

WHO 2006:

World Health Organisation (Hrsg.): Air Quality Guidelines – Global Update 2005 - Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Berlin: Druckpartner Moser, 2006

WICHMANN 2003:

Wichmann, Heinz-Erich: Abschätzung positiver gesundheitlicher Auswirkungen durch den Einsatz von Partikelfiltern bei Dieselfahrzeugen in Deutschland. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin: 2003

WOLL 2008:

Woll, Artur (Hrsg.): Wirtschaftslexikon. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag 2008

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Schematisches Verfahren der Wegekostenrechnung, [Rommerskirchen 2002]	16
Abbildung 2-2: Grenzkostenpreisregel, in Anlehnung an [Eckey, Stock 2000] ..	17
Abbildung 2-3: Auswirkungen externer Kosten, in Anlehnung an [Eckey, Stock 2000]	19
Abbildung 3-1: Mangelnde Kostendeckung bei Anwendung der Grenzkostenrechnung in Anlehnung an [Aberle 1997]	23
Abbildung 3-2: Wohlfahrtsverluste bei Anwendung der Durchschnittskostenrechnung im Vergleich zur Grenzkostenrechnung, in Anlehnung an [Aberle 1997]	25
Abbildung 3-3: Verfahren für die monetäre Bewertung verkehrlicher Wirkungen, [Baum et al. 1998]	28
Abbildung 3-4: Beispiel für die Höhe von Vermeidungskosten in Abhängigkeit vom Zielstandard des Schalldruckpegels, eigene Darstellung ..	31
Abbildung 3-5: Unterteilung der Schäden, eigene Darstellung	34
Abbildung 3-6: Kosten aus Schäden mit Auswirkungen auf die Wertschöpfung, eigene Darstellung	35
Abbildung 3-7: Staukosten, in Anlehnung an [Eckey, Stock 2000]	41
Abbildung 4-1: Prinzip des Wirkungspfadansatzes, in Anlehnung an [Bickel 2005]	72
Abbildung 4-2: (a) Weltweite jährliche Emissionen anthropogener Treibhausgase von 1970 bis 2004. (b) Anteil unterschiedlicher anthropogener Treibhausgase an den Gesamtemissionen 'im Jahr 2004 als CO ₂ -Äq. (c) Anteil unterschiedlicher Sektoren an den gesamten anthropogenen Treibhausgasemissionen im Jahr 2004 als CO ₂ -Äq. (Forstwirtschaft schließt Entwaldung mit ein). [Bernstein et al. 2007]	87
Abbildung 4-3: Verlauf der Grenz- und Durchschnittskostenkurve der Vermeidungskosten im Kostenbereich "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel", eigene Darstellung	92
Abbildung 4-4: Externe Kostensätze nach dem Vermeidungskostenansatz für den Kostenbereich "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel", [Maibach et al. 2007]	94

Abbildung 4-5: Entwicklung der Abgasemissionen aus Pkw und Lkw in Deutschland im Vergleich zum Emissionsstand 1960, [Koch et al. 2005] NMHC = flüchtige Kohlenwasserstoffe ohne Methan, Untergruppe der NMVOC (flüchtige organische Verbindungen ohne Methan).....	97
Abbildung 4-6: Wichtigste Berechnungsschritte des Top-Down Ansatzes, nach [Sommer et al. 2004a].....	103
Abbildung 5-1: Darstellung des Beispielnetzes mit nummerierten Abschnitten, eigene Darstellung	141
Abbildung 5-2: Grafische Darstellung des Gesamtergebnisses der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der Fahrzeugklasse "Sonstige Fahrzeuge" aller Abschnitte, eigene Darstellung	151
Abbildung 5-3: Grafische Darstellung des Gesamtergebnisses der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der Fahrzeugklasse "Lkw ≥ 12 t zGG" aller Abschnitte, eigene Darstellung	152
Abbildung 5-4: Prozentuale Aufteilung der jährlichen Gesamtkosten auf die Kostenbereiche, eigene Darstellung	154
Abbildung 5-5: Boxplots der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der Kostenbereiche "Unfallkosten", "Lärmkosten", "Kosten für Natur und Landschaft" sowie "Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung", eigene Darstellung	156
Abbildung 5-6: Boxplots der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der Kostenbereiche "Kosten durch Beiträge zum Klimawandel", eigene Darstellung	157
Abbildung 5-7: Boxplots der fahrleistungsbezogenen Durchschnittskosten der Kostenbereiche "Kosten durch Luftverschmutzung" und "Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse" für die Fahrzeugklasse "Sonstige Fahrzeuge", eigene Darstellung	158
Abbildung 5-8: Vergrößerte Darstellung des unteren Bereichs der Abbildung 5-7, eigene Darstellung	158
Abbildung 6-1: Grafische Darstellung der Einteilung des Beispielnetzes in mögliche Preisklassen, eigene Darstellung	161
Abbildung 7-1: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse im Vergleich zum ursprünglichen Ergebnis für "Sonstige Fahrzeuge", eigene Darstellung	179

Abbildung 7-2: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse im Vergleich zum
ursprünglichen Ergebnis für "Lkw ≥ 12 t zGG", eigene
Darstellung 180

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1:	Unfallkategorienbeschreibung; in Anlehnung an [FGSV 2003]..	49
Tabelle 4-2:	Mittlere Zahlungen der Kfz-Haftpflichtversicherungen	56
Tabelle 4-3:	Ausfalljahre bezogen auf die Erwerbstätigkeit in Abhängigkeit von der Unfallfolge, nach Daten von [Baum, Höhnscheid 1999].....	60
Tabelle 4-4:	Erfassungsraten von Unfällen und Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung nicht erfasster Unfälle, nach [Derriks, Mak 2007]	62
Tabelle 4-5:	Notwendigkeit der Modifizierung der Kostenkomponenten mit externen Bestandteilen, eigene Darstellung	62
Tabelle 4-6: :	Externe Kostensätze für Unfallopfer mit Personenschaden, nach [Baum, Höhnscheid 1999] und eigenen Berechnungen....	63
Tabelle 4-7:	Externe Kostensätze für Unfallverursacher mit Personenschaden, nach [Baum, Höhnscheid 1999] und eigenen Berechnungen	64
Tabelle 4-8:	Externe Kostensätze für Unfallopfer und Unfallverursacher mit Sachschaden nach [Baum et al. 2000] und eigenen Berechnungen	65
Tabelle 4-9:	Externe Unfallkostensätze für Personenschäden, nach [Baum, Höhnscheid 1999] und eigenen Berechnungen	66
Tabelle 4-10:	Externer Kostensatz zur Bewertung ischämischer Herzkrankheiten zum Preisstand 2004, eigene Berechnungen	79
Tabelle 4-11:	Externer Kostensatz zur Bewertung von Hypertonieerkrankungen zum Preisstand 2004, eigene Berechnungen	82
Tabelle 4-12:	Vom motorisierten Verkehr direkt emittierte langlebige Treibhausgase und GWP-Werte, nach [Parry et al. 2007].....	86
Tabelle 4-13:	Reduktionsziele des Kohlendioxidausstoßes Deutschlands bezogen auf die Emissionen des Jahres 1990 für den Zeitraum bis 2020 bzw. 2050 in Abhängigkeit von der angestrebten maximalen CO ₂ -Konzentration in der Atmosphäre, nach [Höhne et al. 2005]	91

Tabelle 4-14:	Reduktionsziele des Treibhausgasausstoßes für Staaten der EU bezogen auf die Emissionen des Jahres 1990 für die Zeiträume bis 2020 bzw. 2050 in Abhängigkeit vom gewählten Konzentrations-Szenario, nach [Criqui et al. 2003].....	91
Tabelle 4-15:	Externe Kostensätze pro Tonne CO ₂ -Äquivalent in Abhängigkeit vom betrachteten Jahr, nach [Leimbach et al. 2009] umgerechnet zum Preisstand 2004	93
Tabelle 4-16:	Emissionsfaktoren umgerechnet in CO ₂ -Äquivalenten für das Jahr 2005 und der Verkehrssituation "Autobahndurchschnitt", nach [Keller et al. 2004].....	95
Tabelle 4-17:	Fahrzeugklassen nach [Keller et al. 2004].....	95
Tabelle 4-18:	Emissionsfaktoren in CO ₂ -Äquivalenten für das Jahr 2005, eigene Berechnungen nach Daten von [Keller et al. 2004].....	95
Tabelle 4-19:	Dosis-Wirkungsbeziehungen mit berücksichtigten Endpunkten und zusätzlichen Fällen pro 10 µg/m ³ PM ₁₀ und 1.000.000 betroffener Einwohner, nach [Sommer et al. 2004a]	105
Tabelle 4-20:	Verlorene Erwerbstätigkeitsjahre, Todesfälle und verlorene Erwerbstätigkeitsjahre pro Todesfall für den Endpunkt Langzeitmortalität, eigene Berechnungen nach Daten von [DESTATIS 2008b] und [GBE 2009].....	107
Tabelle 4-21:	Zusammenstellung der Kostensätze für die Endpunkte Langzeitmortalität und Säuglingssterblichkeit, eigene Berechnungen	109
Tabelle 4-22:	Zusammenstellung der Kostensätze für die Endpunkte Krankenhausaufenthalte infolge von Herz-/Kreislaufkrankungen und Atemwegserkrankungen, eigene Berechnungen	112
Tabelle 4-23:	Zusammenstellung der Kostensätze für sonstige Endpunkte, eigene Berechnungen nach Daten von [Sommer et al. 2004a] und [Baum, Höhnscheid 1999]	113
Tabelle 4-24:	Kostensätze für ozonbedingte landwirtschaftliche Kosten zum Preisstand 2004, nach [Rothengatter et al. 1999].....	116
Tabelle 4-25:	Multimethodenansatz, [Schreyer et al. 2004b].....	117
Tabelle 4-26:	Kostensätze für Kostenbereich "Kosten für Natur und Landschaft", nach [Rothengatter et al. 1999] und [Maibach et al. 2000]	123

Tabelle 4-27:	Schadstoffe und ihre Wirkung, nach [Maibach et al. 2000], [Bickel, Friedrich 2005], [UBA 2009 g].....	124
Tabelle 4-28:	Beispiel für pro Schadstoff auszutauschende Bodenmassen, eigene Darstellung.....	126
Tabelle 4-29:	Prozentwerte der Luftschadstoff- und Klimagaskosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse bezogen auf die entsprechenden Kostenbereiche durch direkte Emissionen, nach [Maibach et al. 2000] und [Schreyer et al. 2004a].....	131
Tabelle 4-30:	Klimagasemissionen im Produktlebenszyklus von Kraffahrzeugen, nach [Schreyer et al. 2006]	132
Tabelle 4-31:	Klimagasemissionen bei Gewinnung, Transport und Bearbeitung von Treibstoffen, nach [Schreyer et al. 2006].....	132
Tabelle 4-32:	Kosten der bei vor- und nachgelagerten Prozessen emittierten Luftschadstoffe als Prozentangaben bezogen auf die Kosten des Kostenbereichs "Kosten durch Luftverschmutzung", eigene Berechnungen nach Daten von [Schreyer et al. 2004a]	134
Tabelle 4-33:	Klimagasemissionen fahrzeugbezogener vor- und nachgelagerter Prozesse unter Beachtung der gewählten Fahrzeugklasseneinteilung, eigene Berechnungen nach Daten von [Schreyer et al. 2006]	134
Tabelle 4-34:	Klimakosten fahrzeugbezogener vor- und nachgelagerter Prozesse, eigene Berechnungen nach Daten von [Schreyer et al. 2006]	134
Tabelle 4-35:	Transformierte Klimagasemissionen bei Gewinnung, Transport und Bearbeitung von Treibstoffen, eigene Berechnungen nach Daten von [Schreyer et al. 2006]	135
Tabelle 4-36:	Zusammenfassung des Berechnungsmethodik.....	137
Tabelle 5-1:	Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Unfallkosten für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen	142
Tabelle 5-2:	Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Lärmkosten für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen	143
Tabelle 5-3:	Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch Beiträge zum Klimawandel für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen	144

Tabelle 5-4:	Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch Gesundheits-schäden infolge von Luftverschmutzung für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen	145
Tabelle 5-5:	Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch Schädigung der Vegetation infolge von Luftverschmutzung für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen	145
Tabelle 5-6:	Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten für Natur und Landschaft der Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen.....	146
Tabelle 5-7:	Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch Wasser- und Bodenverschmutzung für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen	146
Tabelle 5-8:	Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse (Luftverschmutzung) für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen	147
Tabelle 5-9:	Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse (fahrzeugbezogene Klimakosten) für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen.....	148
Tabelle 5-10:	Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse (infrastrukturbezogene Klimakosten) für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen.....	148
Tabelle 5-11:	Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse (kraftstoffbezogene Klimakosten) für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen.....	148
Tabelle 5-12:	Ausgewählte Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse (Fahrzeugentsorgung) für die Autobahnen Thüringens, eigene Berechnungen	149
Tabelle 6-1:	Einteilung des Beispielnetzes in Klassen ähnlicher fahrleistungsbezogener Durchschnittskosten, eigene Berechnungen	160

Tabelle 7-1:	Ausgewählte Ergebnisse der Variation 1 der Unfallkosten, eigene Berechnungen	166
Tabelle 7-2:	Ausgewählte Ergebnisse der Variation 2 der Unfallkosten, eigene Berechnungen	167
Tabelle 7-3:	Ausgewählte Ergebnisse der Variation der Lärmkosten, eigene Berechnungen	168
Tabelle 7-4:	Ausgewählte Ergebnisse der Variation der Kosten durch Beiträge zum Klimawandel, eigene Berechnungen	169
Tabelle 7-5:	Ausgewählte Ergebnisse der Variation der Kosten durch Luftverschmutzung, eigene Berechnungen	171
Tabelle 7-6:	Ausgewählte Ergebnisse der Kombination 1 der Sensitivitätsanalyse, eigene Berechnungen	172
Tabelle 7-7:	Ausgewählte Ergebnisse der Kombination 2 der Sensitivitätsanalyse, eigene Berechnungen	172
Tabelle 7-8:	Geänderte Kostensätze infolge der Variation der Diskontrate zu 3 %, eigene Berechnungen.....	173
Tabelle 7-9:	Ausgewählte Ergebnisse der Änderung der Diskontrate zu 3 %, eigene Berechnungen	174
Tabelle 7-10:	Geänderte Kostensätze infolge der Variation der Diskontrate zu 0 %, eigene Berechnungen.....	175
Tabelle 7-11:	Ausgewählte Ergebnisse der Änderung der Diskontrate zu 0 %, eigene Berechnungen	176

13 Verzeichnis der Abkürzungen

As	Arsen
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
Cd	Cadmium
CH ₄	Methan
ChVI	Chrom(VI)oxid
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
Cu	Kupfer
DTV Jahres	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke aller Tage eines Jahres
ExternE	External costs of Energy (Europäisches Forschungsnetzwerk zu externen Kosten des Energiesektors)
FKW	Fluorkohlenwasserstoff
GWP	Global Warming Potential (Globales Erwärmungspotenzial)
H ₂ SO ₄	Dihydrogensulfat
HC	Kohlenwasserstoff
Hg	Quecksilber
HNO ₃	Hydrogennitrat
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme)
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)
Kfz	Kraftfahrzeuge
KR	Kraftrad
LBUS	Linienomnibus
Lkw	Lastkraftwagen

LNF	Leichtes Nutzfahrzeug, Lkw mit nicht mehr als 3,5 t zGG
N ₂ O	Distickstoffmonoxid
NaCl	Natriumchlorid
NMHC	Kohlenwasserstoff ohne Methan
NM VOC	Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan
NO	Stickstoffmonoxid
NO _x	Stickoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NSDI	Noise Sensitivity Depreciation Index (Wertminderungsindex aufgrund von Lärmempfindlichkeit)
O ₂	Sauerstoff
O ₃	Ozon
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
Pkw	Personenkraftwagen
PM ₁₀	Feinstaub der Korngröße ≤ 10µm
PM _{2,5}	Feinstaub der Korngröße ≤ 2,5µm
PM ₁	Feinstaub der Korngröße ≤ 1µm (Feinstaub)
PM _{0,1}	Feinstaub der Korngröße ≤ 0,1µm (Ultrafeinstaub)
RBUS	Reiseomnibus
RR	Relatives Risiko
SO ₂	Schwefeldioxid
SV	Schwerverkehr
SNF	Schweres Nutzfahrzeug, Lkw ab 3,5 t zGG
TLS	Thüringer Landesamt für Statistik
TLUG	Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie
TLVermGEO	Thüringer Landesamt für Vermessung und Geoinformation
VOC	Flüchtige organische Verbindungen

VOSL	Value Of Statistical Life (Wert eines statistischen Lebens)
zGG	Zulässiges Gesamtgewicht
Zn	Zink

14 Glossar

Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten wirtschaftswissenschaftlichen und medizinischen Begriffe werden im Folgenden kurz definiert, soweit sie nicht bereits im Textteil erläutert werden. Damit wird das Ziel verfolgt, diesbezügliche Inhalte der vorliegenden Ausarbeitung für eine fachfremde Leserschaft verständlich darzulegen.

Grenzkosten:	Kosten, die bei einer Ausweitung der Produktion um eine Produkteinheit entstehen. Die Grenzkostenfunktion ist definiert als die erste Ableitung der Kostenfunktion.
Inzidenz:	"Die Inzidenz gibt Auskunft über die Anzahl neu auftretender [Krankheits-] Fälle in einer definierten Bevölkerung in einem bestimmten Zeitraum, bezogen auf die Gesamtbevölkerung" [Vutuc et al. 2010: S. 7]. Wie auch in der vorliegenden Arbeit wird der Bezugszeitraum meist zu einem Jahr gewählt.
Konsum:	Als Konsum wird der Verbrauch und/oder Gebrauch von Waren und Dienstleistungen durch den Endverbraucher bezeichnet.
Konsumentenrente:	Die Konsumentenrente ist definiert als "(...) Differenz zwischen dem Preis, den ein Käufer höchstens zu zahlen gewillt ist, und dem tatsächlich gezahlten Marktpreis, multipliziert mit der gekauften Menge. Die Konsumentenrente ist folglich ein zurückbehaltener, nicht ausgegebener Betrag bzw. ein Nutzengewinn" [Gabler 1990: S. 448]. Die Konsumentenrente lässt sich grafisch als Fläche zwischen der Nachfragekurve und der Preisgeraden darstellen.
Prävalenz:	"(Relative) Häufigkeit von Krankheitsfällen zu einem bestimmten Zeitpunkt" [DESTATIS 2008b: S. 10]
Produzentenrente:	Im Unterschied zur Konsumentenrente ist die Produzentenrente als "(...) Fläche zwischen Angebotskurve des Produzenten und Preisgerade (...)" [Woll 2008: S. 635] definiert. Sie

gibt somit die mit der gekauften Menge multiplizierte Differenz zwischen dem Marktpreis und dem Preis, den der Anbieter minimal zu akzeptieren bereit ist, (Herstellungspreis) an. Die Produzentenrente gibt demnach den Nutzen an, den der Anbieter aus der Marktteilnahme erzielt. Bei langfristigen Betrachtungen entspricht die Produzentenrente dem Gewinn des Anbieters.

Wertschöpfung:

Die Wertschöpfung gibt die in einer Periode entstandenen Güter und Leistungen einer Volkswirtschaft an.

Wohlfahrt:

Der Begriff der Wohlfahrt ist nicht eindeutig definiert. "In der Volkswirtschaftslehre wird dieser Ausdruck häufig verwendet, um den Nutzen abzubilden, der sich für die Gesellschaft insgesamt (...) ergibt" [Bofinger 2007: S. 608]. Die Wohlfahrt setzt sich aus Produzenten- und Konsumentenrente aller Wirtschaftssubjekte zusammen.

Anhang A – Anhang H

s. die beigefügte CD